

In-situ-Studie zur Ausprägung von Bürstabrasionen an erodiertem Schmelz in Abhängigkeit von Putzzeitpunkt und Fluorideinsatz

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

des Fachbereiches Humanmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Dirk Jochen Friedrich

aus Gießen

Gießen, 2001

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Abteilung Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde
Leiter: Prof. Dr. J. Klimek
des Universitätsklinikums Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Klimek
Gutachter: Prof. Dr. Kummer

Tag der Disputation: 16. Januar 2002

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Aufbau und physikalische Eigenschaften des Zahnschmelzes	3
2.1.1 Härte des Zahnschmelzes	4
2.2 Definition nicht-kariesbedingter Zahnhartsubstanzverluste	7
2.3 Epidemiologie und Prävalenz von Erosionen	9
2.3.1 Ätiologie der Erosion	11
2.3.2 Extrinsische Faktoren	12
2.3.3 Intrinsische Faktoren	18
2.4 Therapie bei erosiv bedingten Zahnhartsubstanzverlusten	21
2.4.1 Modifikation von Getränken	22
2.4.2 Prophylaxe durch lokalen Fluorideinsatz	26
2.4.3 Vermeidung zusätzlicher Substanzverluste durch Mundhygienetechniken ..	27
2.4.4 Bürstabrasionen an erodiertem Schmelz	29
3 Probanden, Material und Methode	33
3.1 Probanden	33
3.1.1 Analyse der Speichelparameter	33
3.1.2 Fluoridgehalt des Speichels	34
3.2 Herstellung der Schmelzproben und der Probenhalterung	34
3.2.1 Probenherstellung	34
3.2.2 Probenträger	35
3.3 Erzeugung der Erosionen	37
3.3.1 Herstellung der Zitronensäure	37
3.4 Erzeugung der Bürstabrasion	38
3.4.1 Konstruktion des Drucksensors	38
3.4.2 Versuchsaufbau und Durchführung des Bürstens	39
3.5 Versuchsgruppen	40
3.6 Produktbeschreibung der verwendeten Zahnpasten und Mundspüllösung	42
3.7 Zahnpastaverbrauch	43
3.8 Studiendesign	43
3.9 Quantifizierung der Bürstabrasionen	44
3.9.1 Prinzip der Profilometrie	45
3.9.2 Tastbedingungen	45

3.9.3	Auswertbedingungen	46
3.9.4	Durchführung der Messungen	46
3.10	Reproduzierbarkeit der Messungen	48
3.11	Statistik	49
3.12	Materialien- und Chemikalienliste	50
4	Ergebnisse	52
4.1	Allgemeines	52
4.2	Erosiver Substanzverlust unter in-situ- und in-vitro-Bedingungen	54
4.3	Substanzverlust in Abhängigkeit vom Fluorideinsatz	55
4.4	Substanzverlust in Abhängigkeit vom Putzzeitpunkt (fluoridfrei)	56
4.5	Betrachtung der Ergebnisse bei den einzelnen Probanden	57
4.6	Speichelparameter.....	60
4.7	Zahnpastaverbrauch	61
5	Diskussion	62
5.1	Methode	62
5.1.1	Erzeugung der Erosionen	66
5.1.2	Erzeugung der Abrasion.....	67
5.1.3	Meßmethode.....	68
5.2	Ergebnisse.....	70
5.2.1	Variation des Putzzeitpunktes	70
5.2.2	Durch Fluorid erzeugter Effekt	76
5.2.3	Wirkungsmechanismen der Fluoridzufuhr	78
5.2.4	Einordnung der Intensivfluoridierung in die Fluoridtoxikologie	80
5.3	Unterschiede Probanden	82
5.4	Empfehlungen.....	84
5.5	Ausblick.....	85
6	Zusammenfassung	86
7	Literaturverzeichnis	88
8	Anhang	98
	Lebenslauf	100
	Danksagung	101

1 Einleitung

Zahnhartsubstanzverluste können einerseits durch das Zusammenwirken potentiell pathogener Mikroorganismen und potentiell pathogener ökologischer Faktoren in Form von Karies, aber auch durch direkte physikalisch/chemische Einwirkungen entstehen. Letztere werden aufgrund ihrer Ätiologie in mechanisch bedingte Zahnhartsubstanzverluste (Abrasion, Attrition, keilförmiger Defekt) und solche, die durch direkte Säureeinwirkung (Erosionen) entstehen, eingeteilt.

Klinisch muss bei diesen nicht kariesbedingten Defekten in der Regel aber von einer Kombination der verschiedenen ätiologischen Faktoren ausgegangen werden. Jedoch lässt sich aufgrund der Defektform in Verbindung mit der Anamnese oft der im Vordergrund stehende Faktor bestimmen, so dass eine kausale Therapie möglich wird. Bei mechanisch bedingten Defekten ist dies beispielsweise durch veränderte Mundhygienetechniken oftmals problemlos möglich. Bei säurebedingten Defekten (Erosionen) dagegen lässt sich die pathogene Noxe vielfach nicht ohne weiteres eliminieren. So ist eine hohe Erosionsprävalenz bei Personen mit einer säurereichen Ernährung (z. B. Rohköstler [Ganss et al., 1999a] oder Vegetarier [Linkosalo und Markkanen, 1985]), Personen mit Allgemeinerkrankungen (z. B. Essstörungen [Scheutzel, 1992, 1996; Scheutzel und Meermann 1994; Rytömaa et al., 1998; Öhrn et al., 1999] oder gastrointestinalen Erkrankungen [Järvinen et al., 1988; Meurman et al., 1994; O’Sullivan et al., 1998; Shaw et al., 1998]), aber auch bei Personen, die aus beruflichen Gründen einer Säureeinwirkung auf die Zähne ausgesetzt sind (z. B. Weinverkoster [McIntyre, 1992; Chaudhry et al., 1997; Wiktorsson et al., 1997]), festzustellen. Vor diesem Hintergrund erscheint es notwendig Empfehlungen zu erarbeiten, die das Fortschreiten erosiver Läsionen minimieren können.

Die erosive Einwirkung von Säuren führt einerseits zu einem flächenhaften Substanzabtrag, hinterlässt aber außerdem eine teilweise demineralisierte und damit erweichte Oberfläche, die leicht durch mechanischen Abrieb abgetragen werden kann. So konnte sowohl in-vitro [Davis und Winter, 1980; Bartlett et al., 1994; Attin et al.,

1997b; Ganss et al., im Druck; Hall und Foye, 1998] als auch klinisch [Scheutzel, 1992; Lussi et al., 1997] gezeigt werden, dass das Zähneputzen direkt nach einer Säureeinwirkung, sei es nach einer säurehaltigen Mahlzeit oder nach Erbrechen, den erosiven Substanzverlust beschleunigen kann. Hauptansatzpunkte für Prophylaxeempfehlungen können dementsprechend, neben der Verringerung der Säurelöslichkeit der Zahnhartsubstanzen, die Remineralisation – und damit die „Wiedererhärtung“ erodierter Oberflächen [Stösser und Nekrashevych, 1998] – sowie die Vermeidung eines zusätzlichen mechanisch bedingten Substanzverlustes durch Mundhygienemaßnahmen sein.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es deshalb, den in Verbindung mit einer erosiven Säureeinwirkung durch Bürstabrasion bewirkten Zahnhartsubstanzenabtrag einerseits in Bezug auf den Einfluss des Putzzeitpunktes und andererseits auf den Einsatz von Mundpflegemitteln unterschiedlicher Fluoridkonzentration zu untersuchen. Weiterhin sollten Therapieansätze zur Prophylaxe von Abrasionen der Schmelzsubstanz nach erfolgter Erosion entwickelt werden. Da die komplexe Situation der Mundhöhle und der möglicherweise positiv wirkenden Momente (u. a. Pufferkapazität des Speichels und Speichelfließrate [Lussi et al., 1997] sowie Pellikelbildung [Meurman und Frank, 1991a]) in-vitro nur begrenzt dargestellt werden kann, wurde die Untersuchung als in-situ-Studie konzipiert.

2 Literaturübersicht

Neben den sowohl klinisch/morphologisch als auch ätiologisch gut fassbaren durch Karies bedingten Zahnhartsubstanzverlusten ist eine Vielzahl anderer Defekte in Schmelz und Dentin zu beobachten, deren Ätiologie nicht ohne weiteres aus ihrer Morphologie abzuleiten ist. Da eine Reihe von mechanischen und chemischen Faktoren auf die Zahnhartsubstanzen einwirken, muss immer eine multikausale Genese nicht-kariesbedingter Zahnhartsubstanzverluste angenommen werden. Dennoch kann aus der Defektform oft auf die im Vordergrund stehende Ursache geschlossen werden.

Bevor jedoch die verschiedenen nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste beschrieben werden, soll zunächst kurz auf Bestandteile, Aufbau und Eigenschaften des Gegenstandes dieser Untersuchung, des Zahnschmelzes, eingegangen werden.

2.1 Aufbau und physikalische Eigenschaften des Zahnschmelzes

Zahnschmelz besitzt prinzipiell die gleiche chemische Zusammensetzung wie Knochen und Dentin, enthält jedoch weniger Wasser (etwa 1,5-4 Gew.%) und organische Bestandteile (ca. 1 Gew.%), dafür mehr anorganische Bestandteile (93-98 Gew.%), die als nicht-stöchiometrische Formel von Hydroxalapatit ($\text{Ca}_{10-x}(\text{PO}_{6-x})\cdot\text{X}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) vorliegen. Etwa 100 Schmelzkristallite bilden ein Schmelzprisma. Die Prismen verlaufen sowohl horizontal als auch vertikal wellenförmig von der Schmelz-Dentin-Grenze bis fast zur Schmelzoberfläche. Die oberste Schmelzschicht von etwa 20-30 μm besteht aus prismenfreiem Schmelz, der eine größere Resistenz gegen schwache Säureeinwirkung aufweist [Schröder, 1987], bzw. auf eine sehr unregelmäßige Weise erodiert [Meurman und ten Cate, 1996].

Das im Schmelz enthaltene Wasser ist vorwiegend in Form einer Hydratationsschale an die Apatitkristalle gebunden, der Rest liegt in der organischen Matrix, die haupt-

sächlich aus Proteinen, Kohlenhydraten und Lipiden besteht. Dieser Aufbau verleiht dem Schmelz einerseits eine große Härte, aber auch eine gewisse Sprödigkeit.

Apatit ist in Säuren löslich, wobei der kritische Wert etwa zwischen pH 4,5 und 6 liegt. Der Lösungsvorgang kann durch Komplex- und Chelatbildner mit Ca^{2+} -Ionen (mehrwertige Säuren, wie z. B. Zitronensäure) beschleunigt werden [Schweitzer-Hirt et al., 1978; Hannig, 1993].

2.1.1 Härte des Zahnschmelzes

Zahnschmelz stellt die härteste Substanz im menschlichen Körper dar. Um die Härte quantifizieren zu können, wird der zu prüfende Körper mit Hilfe von diamantierten Eindringkörpern und einer konstanten, langsam und gleichmäßig auf ihren Höchstwert gesteigerten Belastung belastet. Die Härtezahl wird aus der aufgebrachten Prüfkraft und der Eindringtiefe oder der eingedrückten Fläche ermittelt [Mott, 1956]. Man spricht im Falle von geringen Prüfkraften von Mikrohärt-Untersuchungen der Oberfläche. Abhängig von der Form der Eindringkörper sind Angaben in Vickers-hardness-numbers (=VHN; Pyramidenform) und Knoop-hardness-numbers (=KHN; Pyramide mit rhombischer Grundfläche) üblich und werden häufig verwendet.

An der Schmelz-Dentin-Grenze wurde die Härte im Durchschnitt mit 250 Knoop-hardness-numbers (=KHN) und an der Schmelzoberfläche mit 390 KHN angegeben [Mott, 1956; Hellwig et al., 1995]. Andere Autoren fanden für unbehandelten Zahnschmelz bleibender Zähne Härtezahlen zwischen 320 und 380 KHN [Schweitzer-Hirt et al., 1978; Lussi et al., 1991]. Untersuchungen mit Einheitsangaben in Vickershärte zeigten für Zähne der zweiten Dentition Werte zwischen 330 und 388 [Johansson et al., 1998; Maupomé et al., 1998]; für Milchzähne ergaben sich jedoch etwas geringere Werte im Bereich von 276 bis 342 VHN [Johansson et al., 1998].

Die Härte von Zahnschmelz kann durch Fluoridzufuhr gesteigert werden. Beispielsweise können Zähne von Personen aus Gegenden mit Trinkwasserfluoridierung einen

fast doppelt so hohen Fluoridgehalt und eine etwa 10 % höhere Vickershärte gegenüber denen ohne Trinkwasserfluoridierung aufweisen [Bartlett et al., 1994].

Sorvari et al. (1994) konnten in-vitro zeigen, dass die Schmelzhärte durch lokale Fluoridierung signifikant stieg ($p < 0,05$). Im Vergleich zur initialen Härte von 298 ± 12 VHN wurde nach 24stündigem Einwirken von Duraphat-Lack (2,26 % F⁻) bzw. Einlagerung der Schmelzstücke in 10 ml einer NaF-Lösung (1,2 % F⁻) über 48 Stunden hinweg eine Vickershärte von 311 ± 18 bzw. 309 ± 6 gemessen.

Durch direkte Einwirkung von Säuren kann die Schmelzoberfläche erweicht werden. Zahlreiche Studien zeigten eine Härte- und Substanzabnahme bei Kontakt des Zahnschmelzes mit unterschiedlichen in Lebensmitteln und Getränken enthaltenen Säuren. Beispielsweise konnte durch 5minütige Lagerung in frisch gepresstem Orangensaft (pH 3,4; 38 °C) eine Abnahme der Härte von Zahnschmelz im Bereich von 13-20 % ermittelt werden. Abhängig von der Tiefe des Schmelzanschliffes lag die Ausgangshärte zwischen 320 und 375 und die Endhärte bei 257-316 KHN [Schweitzer-Hirt et al., 1978].

Säurehaltige Lebensmittel weisen ein unterschiedlich starkes Potential zur Erzeugung von Erosionen auf. In einer Untersuchung von mehreren Getränken zeigte sich bei Sprite light, Grapefruit- und Apfelsaft ein deutlich höheres „Erweichungspotential“ als bei Salatdressing, Orangensaft, Isostar, Coca Cola, Laktat, Weißwein, Perform, Trinkmolke und Joghurt [Lussi et al., 1993].

Weiterhin spielt auch die Dauer der Säureeinwirkung eine Rolle in Bezug auf die Mikrohärtigkeit des Schmelzes, wie Sorvari et al. (1994) zeigen konnten. Sie untersuchten die Schmelzhärte von unbehandelten Proben nach Einlagerung in Cola (pH 2,6) bei 20 °C unter ständigem Rütteln. Die Härte sank von initial 298 ± 12 VHN nach einer Minute im erosiven Medium auf etwa 294, nach fünf Minuten auf ungefähr 265 und nach fünfzehn Minuten auf ca. 237 VHN.

Um die Veränderungen der Vickershärte von Zahnschmelz bei unterschiedlich häufigem Kontakt mit einem säurehaltigen Cola-Getränk (pH 2,6) zu ermitteln, führten Maupomé et al. (1998) eine in-vitro-Untersuchung durch. Simuliert wurden differierende Trinkgewohnheiten, wobei „wenig“ einmal, „mittel“ fünfmal und „hoch“ zehnmal pro Tag dem fünfminütigen Aussetzen im Cola-Medium entsprach. Die

Mikrohärteuntersuchung erfolgte jeweils erst am Ende eines Versuchstages. Eine deutliche Abnahme der Schmelzproben-Mikrohärte vom Ausgangswert $352,1 \pm 32,5$ auf $269,3 \pm 41,0$ VHN wurde nach dem ersten Tag festgestellt. Sie sank bis zum Tag 8 auf im Durchschnitt $204,5 \pm 45,4$ VHN, wobei die Abnahme der Mikrohärte nahezu gleichmäßig verlief und erst am Tag 8 zu einem statistisch deutlichen Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen führte: In der Gruppe „wenig“ waren die Schmelzstücke härter ($233,2 \pm 25,0$) als in „hoch“ ($169,8 \pm 49,5$).

Es konnte bereits gezeigt werden, dass der Schmelz von Milchzähnen, verglichen mit bleibenden Zähnen, in geringerem Maße mineralisiert [Wilson und Beynon, 1989], die Anordnung der Kristallite weniger ausgeprägt [Skaleric et al., 1982], der Gehalt an Wasser höher ist [Bonte et al., 1988], und dass er eine größere Permeabilität aufweist [Lindén et al., 1986]. Zusammen mit Unterschieden in der Pellikelbildung an Zähnen der 1. und 2. Dentition [Sønju-Clasen et al., 1997] könnte dies eine Erklärung für die hohe Prävalenz von Läsionen erosiven Ursprungs an Milchzähnen darstellen. Dementsprechend fanden Amaechi et al. (1999) heraus, dass in-vitro die Erosion an Milchzahnschmelz 1,5mal schneller fortschritt als am Schmelz bleibender Zähne.

Johansson et al. (1998) stellten eine vergleichende Untersuchung unter Milchzähnen aus zwei unterschiedlichen Populationen (Saudi-Arabien und Finnland) und bleibenden Zähnen der finnischen Population an. Dabei betrugen die Ausgangswerte der Oberflächenhärte der Schmelzproben 299 ± 23 VHN für die finnischen und 317 ± 25 VHN für die saudi-arabischen Milchzähne bzw. 363 ± 25 VHN für die finnischen bleibenden Zähne. Nach 30minütiger Einlagerung in 2%iger Zitronensäure wiesen die finnischen bzw. saudi-arabischen Milchzähne Durchschnittswerte von 99 ± 15 bzw. 89 ± 12 und die bleibenden Zähne 116 ± 13 VHN auf. Bei der Untersuchung mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops zeigten sich sowohl bei den bleibenden als auch bei den Milchzähnen irreguläre, grübchenartige Formen und Prismenflecken. Auch in diesem Fall schlossen die Autoren aus der Abnahme der Schmelzoberflächenhärte, dass Milchzähne Erosionen gegenüber anfälliger sind als bleibende Zähne.

2.2 Definition nicht-kariesbedingter Zahnhartsubstanzverluste

Nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste können mechanisch oder chemisch bedingt sein und beeinflussen sich in der komplexen Situation der Mundhöhle gegenseitig. Aus diesem Grunde kann in der Regel keine monokausale Ätiologie angenommen werden, obwohl oftmals der im Vordergrund stehende Faktor benannt werden kann.

Mit zunehmender Beachtung des Themas beginnt nun wegen der Schwierigkeit, einem morphologischen Phänomen einen auf eine multikausale Ätiologie zurückgehenden Namen zu geben, eine Diskussion über eine geeignete Nomenklatur, was zu einem unscharfen Sprachgebrauch geführt hat. Beispielsweise wird gelegentlich der Begriff „tooth wear“, eigentlich mit der Bedeutung „nicht-kariesbedingter Zahnhartsubstanzverlust“, synonym mit „Erosion“ verwendet. Aus diesem Grunde erscheint uns hier eine Begriffsdefinition (nach Imfeld, 1996a) angebracht.

Abrasionen sind als pathologischer Abrieb der Zahnhartsubstanz durch abnormale mechanische Prozesse, bedingt durch wiederholte Einwirkung „fremder“ Substanzen auf die Zähne, definiert. Am häufigsten sind dabei Defekte durch Zahnbürsten oder Interdentalbürsten (sog. Bürstabrasionen) zu beobachten. Aber auch im Zusammenhang mit dem Beruf können Abrasionen auftreten, bedingt z. B. durch Staub oder das Halten von Nägeln zwischen den Zähnen. Sie treten heute jedoch nur noch selten in Erscheinung. Die Defektformen können entsprechend der einwirkenden Noxe vielfältig sein. Sie äußern sich als Bürstabrasionen in der Regel in Form von Rillen bzw. umschriebenen Defekten meist im Bereich der Wurzeloberflächen, da das Wurzelzement weicher ist als der Zahnschmelz.

Der Begriff *Abfraktion* beschreibt eine spezielle Form des keilförmigen Defektes, der häufig den Bürstabrasionen zugeschrieben wird. Es scheint hier jedoch ein multikausales Geschehen mit Betonung der mechanischen Komponente zugrunde zu liegen [Ott et al., 1991; Meyer et al., 1991; Wang und Smith, 1995 und 1996; Lussi, 1996a; Jaeggi et al., 1999b]. Ätiologisch kommen dabei zwei Faktoren zur Geltung:

- Exzentrisch gerichtete Kräfte wirken bei der Funktion oder Parafunktion (Bruxismus, Fehlstellungen) des stomatognathen Systems auf die Okklusalfächen der Zahnhartsubstanzen und erzeugen durch Fehlbelastungen und Schubspannungen Mikrofrakturen im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze, die nach und nach abgesprengt werden [Meyer et al., 1991; Imfeld, 1996a]. Es resultiert ein keilförmiger Defekt mit scharfen Kanten am Defektrand.
- Verstärkung der Defekte durch mechanische [Frank, 1989; Ott et al., 1991] und/oder erosive Einwirkung [Schweitzer-Hirt et al., 1978; Jaeggi et al., 1999b].

Wang und Smith (1995 und 1996) konnten nachweisen, dass die alleinige Einwirkung von Okklusalkräften nur einen geringen Substanzverlust zur Folge hat, dieser wird aber durch Säureerosion und Zahnputzabrasion signifikant verstärkt.

Der Begriff *Attrition* beschreibt den durch den physiologischen Kontakt der Zähne untereinander (ohne Beteiligung einer Fremdsubstanz) entstehenden Abrieb, z. B. beim Schlucken oder Sprechen, der sich in Form von Schliffacetten manifestiert.

Der beim Kauen von Speisen auftretende Zahnhartsubstanzverlust wird als *Demastikation* bezeichnet. Dieser Prozess ist zusätzlich von der Abrasivität der aufgenommenen Nahrung abhängig. Er stellt letztlich eine Kombination aus Abrasion und Attrition dar.

Die *Erosion* hingegen beschreibt eine Defektform, bei der chemische Faktoren im Vordergrund stehen. Sie ist gekennzeichnet durch ihr Auftreten in plaquefreien Arealen und entsteht durch häufige direkte, nicht-bakterielle Säureeinwirkung auf die Oberfläche von Zahnhartsubstanzen. Die Säuren bedingen einen oberflächlichen Substanzabtrag durch Demineralisation. Erodierter Schmelz weist eine matte, kaum glänzende Oberfläche auf. Die aus häufigem Säurekontakt resultierenden Defekte mit Beteiligung des Dentins lassen eine visuelle Unterteilung in zwei Typen, manifeste und latente Erosion, zu. Die manifeste, aktiv fortschreitende Form wird durch den dünnen Verlauf des Überganges vom Schmelz zum exponierten Dentin erkennbar. Elektronenmikroskopisch zeigt sich ein wabenförmiges Schmelzprismenmuster, ähnlich dem aus der Säure-Ätz-Technik bekannten. Durch einen Wechsel im ätiolo-

gischen Faktor können Erosionen latent oder inaktiv werden. Sie weisen dann makroskopisch prominente, dicke Schmelzränder auf und zeigen elektronenmikroskopisch kein wabenförmiges Prismenmuster.

2.3 Epidemiologie und Prävalenz von Erosionen

Zur Prävalenz von Erosionen existieren relativ wenige epidemiologische Studien, die zudem aufgrund der Vielzahl verschiedener Indizes wenig vergleichbar sind. Während es eine Reihe von Studien mit analytisch-epidemiologischen Fragestellungen an Risikogruppen gibt, fehlen Untersuchungen zur Prävalenz von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten in der Normalbevölkerung fast völlig. Für Deutschland sind bislang keine Zahlen bekannt.

In Großbritannien wurde 1993 im Rahmen des „National Survey of Child Dental Health“ zum ersten Mal eine Erhebung der Erosionen der Zahnhartsubstanz von Oberkieferschneidezähnen in einer repräsentativen Gruppe von Kindern im Alter zwischen 5 und 15 Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass über die Hälfte der 5- und 6jährigen Anzeichen einer Erosion aufwiesen, wobei in fast einem Viertel der Fälle eine Dentinbeteiligung vorlag [O'Brien, 1994].

Untersuchungen an Kleinkindern im Alter von 1½ bis 4½ Jahren zeigten bei Betrachtung der einzelnen Zahnflächen, dass 10 % der Bukkal- und 19 % der Palatinalflächen Erosionen aufwiesen. Bei insgesamt 8 % der Kinder wurden schwere Erosionen bis ins Dentin nachgewiesen. Epidemiologische Studien zeigten, dass von den 3½- bis 4½jährigen Kindern, die häufig kohlenensäurehaltige Getränke konsumierten, 32 % vor allem an den palatinalen Zahnflächen Erosionen aufwiesen und 19 % bukkale Erosionen hatten. In der Vergleichsgruppe, die solche Getränke weniger oft zu sich nahm, waren bei 28 % die Palatinal- und bei 12 % bukkale Flächen erosiv verändert [Gregory und Hinds, 1995].

Eine andere Studie wurde in den West Midlands angefertigt, um die Prävalenz für Erosionen im Zusammenhang mit der sozialen Schichtzugehörigkeit Vierjähriger

ermitteln zu können. Bei fast der Hälfte der 178 untersuchten Kinder zeigten sich Anzeichen von Erosionen. 19 % der Kinder aus den höheren Schichten wiesen zum Teil schwere Erosionen auf. Bei den Kindern aus den sozial schwächeren Schichten zeigten sich in nur 4 % erosive Veränderungen der Zahnhartsubstanz. Am häufigsten waren die palatinale Flächen der oberen Incisivi betroffen, wobei 17 % aller untersuchten Kinder Erosionen mit Dentinbeteiligung aufwiesen [Millward et al., 1994].

In der bleibenden Dentition hingegen zeigten sich bei den über 11jährigen aus der britischen Untersuchung von 1993 nur in etwa einem Viertel der Fälle Erosionen, wobei lediglich 2 % der Teenager Verluste bis ins Dentin aufwiesen [O'Brien, 1994]. Eine weitere Erhebung konnte 1996 an 417 Personen im Alter zwischen 19 und 25 Jahren (Rekruten der Schweizer Armee) durchgeführt werden. Es zeigten sich bei 82 % der Untersuchten okklusale Erosionen ohne Dentinbeteiligung und bei 30,7 % okklusale Erosionen mit Dentinbeteiligung. Bukkale Erosionen ohne Dentinbeteiligung konnten bei 14,4 % der Rekruten festgestellt werden. Orale Erosionen wurden mit 0,7 % selten gefunden [Jaeggi et al., 1999b].

Die bislang einzige größere Studie an Erwachsenen wurde 1991 in der Schweiz von Lussi et al. durchgeführt. Dabei unterteilten die Autoren 391 zufällig ausgesuchte erwachsene Personen in zwei Altersgruppen (26-30 und 46-50 Jahre). Schwere Erosionen wurden in 29,9 % der jüngeren Altersgruppe und 42,6 % bei den Älteren festgestellt.

Die Untersuchungen zeigen, dass Erosionen in einem nicht zu unterschätzenden Prozentsatz der Bevölkerung, und zwar durch alle Altersgruppen hindurch, vorkommen. Bedenkt man weiter, dass in Deutschland der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch an säurehaltigen Erfrischungsgetränken von 1993 auf 1994 mit einer Steigerung um 6,4 % von 85,2 auf 89,8 Liter deutlich zunahm und 1997 auf 98,7 Liter gestiegen ist [Attin et al., 2000], so scheint dies einen immer wichtiger werdenden Faktor in Bezug auf die Ätiologie von Erosionen darzustellen.

2.3.1 Ätiologie der Erosion

Allgemein können alle Säuren (organische bzw. anorganische) durch Demineralisation Erosionen hervorrufen. Potentiell erosiv wirkende Säuren können dabei exogenen oder endogenen Ursprungs sein [Smith und Knight, 1984; Imfeld, 1996a; Zero, 1996; Scheutzel, 1996]. Die Herkunft der Säuren kann jedoch fast immer auf drei Quellen zurückgeführt werden: diätetische Säuren, Magensäure und Säuren, die in der Raumluft am Arbeitsplatz des jeweiligen Individuums präsent sind.

Da auch bei der Entstehung einer Karies Säuren auf die Zahnhartsubstanzen einwirken, die jedoch keine Erosionen auslösen (können), soll hier kurz der Unterschied zwischen Karies und Erosion charakterisiert werden:

Die kariesbedingte Läsion entsteht durch Säuren, die von Mikroorganismen durch Umwandlung von Zuckern erzeugt werden. Der pH-Wert liegt bei einer Karies um 5. Histologisch existiert bei einer Karies eine remineralisierbare Struktur; die 20-50 µm dicke oberflächliche Schicht ist mehr oder weniger intakt, darunter liegt eine demineralisierte Schmelz- (und Dentin-) Zone. Erosionen hingegen werden als chemische Auflösung der Zahnhartsubstanz durch Säuren jeglichen anderen Ursprungs definiert [Imfeld, 1996a]. Erosionen treten daher auch nur in plaquefreien Arealen auf, wobei sehr niedrige pH-Werte (unter pH 4) vorliegen [Rytömaa et al., 1988; Larsen und Nyvad, 1999]. Der Säureangriff ist bei der Erosion ungleich stärker, da der Zahn sprichwörtlich mit Säure überschwemmt wird [Sorvari et al., 1994; Meurman und ten Cate, 1996]. Die Zahnhartsubstanz wird unter Bildung eines Ätzmusters Schicht um Schicht aufgelöst, annähernd ohne Alteration des unter der Oberfläche liegenden Schmelzes. Erosionen weisen daher nahezu keine remineralisierbaren Strukturen auf.

Aufgrund des Wissens um die Entstehung von Erosionen existieren Studien zur Prävalenz in Bevölkerungsgruppen, die in besonderer Häufigkeit und Weise Kontakt mit säurehaltigen Substanzen haben, den sogenannten Risikogruppen. Dabei können die Risikofaktoren auf Ernährung und berufliche Exposition (z. B. Weinverkoster) als externe sowie Reflux/Esstörungen als interne Auslöser eingegrenzt werden. Dazu mehr in den folgenden Abschnitten.

2.3.2 Extrinsische Faktoren

Als exogene Faktoren sind Säureeinwirkungen aufgrund von Ernährung, Medikamenten, Umwelt und Lebensstil definiert. Hierbei spielt wohl die Ernährung die bedeutendste Rolle, u. a. weil die Nahrungsaufnahme eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt und mehrmals täglich wiederholt wird. Aus epidemiologischen Studien wie auch aus Fallstudien ergaben sich wichtige Informationen über den Zusammenhang von Ernährung und Erosion der Zahnhartsubstanzen. So wird im Zuge einer „gesundheitsbewussten“ und schlankkeitsorientierten Ernährung in den letzten Jahren eine Zunahme des Verbrauchs von Fruchtsäften, sog. Sportlergetränken, Vitaminpräparaten, aber auch des Verzehrs von Obst und Gemüse beobachtet [Lussi, 1996]. Verbunden mit dem Verzehr der genannten säurehaltigen Nahrungsmitteln steigt die Gefahr erosiver Zahnhartsubstanzverluste. So stellten Järvinen et al. (1991) fest, dass der mehr als zweimal pro Tag getätigte Konsum von Zitrusfrüchten das Risiko von Erosionsbildungen um das 37fache steigern kann. In verschiedenen anderen Studien konnte gezeigt werden, dass der Konsum von säurehaltigen Früchten und Säften [Aeschbacher, 1967; Levine, 1974], Apfelessig [Rytömaa et al., 1998] oder Erfrischungsgetränken den wichtigsten externen Risikofaktor bei der Entwicklung einer Erosion der Zahnhartsubstanz darstellt [Schweitzer-Hirt et al., 1978; Rytömaa et al., 1988 und 1998; Järvinen et al., 1991; Lussi et al., 1991; Ganss et al., 1999a].

Für das Erosionspotential diätetischer Säuren wird die Menge der titrierbaren Säure wichtiger als der jeweilige pH-Wert angesehen, da damit die tatsächliche Anzahl der zur Verfügung stehenden H^+ -Ionen ermittelt werden kann [Grenby, 1990; Lussi, 1996; Meurman und ten Cate, 1996; Larsen und Nyvad, 1999]. Gleichwohl haben auch andere Bestandteile von Nahrungsmitteln und Getränken einen beeinflussenden Effekt, einschließlich der enthaltenen Menge an Phosphat, Kalzium und Fluorid [Lussi et al., 1993 und 1996; Grenby, 1996; Meurman und ten Cate, 1996; Larsen und Nyvad, 1999], der Säureart und der relativen Säurestärke (pK_a) [Rugg-Gunn et al., 1998] sowie physikalischer [Edgar et al., 1997] und chemischer Faktoren, welche die Clearance-Rate der Säure aus der Mundhöhle beeinflussen.

Um die Gefahr und das Ausmaß einer Zahnhartsubstanzerweichung durch Säuren zu eruieren, wurden bereits diverse in-vitro- und in-situ-/in-vivo-Studien sowie einige epidemiologische Studien durchgeführt.

Die folgende Untersuchung beschäftigte sich mit der Bestimmung des erosiven Potentials verschiedener Getränke und Nahrungsmittel. Getestet wurden folgende Substanzen: Grapefruit-, Apfel- und Orangensaft, das Sportlergetränk Isostar fresh, Coca Cola, 0,05 molare Laktatlösung (pH 4,75), Sprite light, Salatdressing, Weißwein, das Sportlergetränk Perform, Trinkmolke und Joghurt. Vor und nach der 20minütigen Erosion in jeweils 5 ml dieser Nahrungsmittel wurden an allen Schmelzproben Mikrohärtetests durchgeführt. Es wurden weiterhin der Gehalt an Phosphat, Kalzium und Fluorid, pH, titrierbare Menge an Base zum Erreichen von pH 5,5 und 7,0 sowie die Pufferkapazität bei pH 5,5 bestimmt. Gefunden wurde eine statistisch signifikante Beziehung zwischen dem erosiven Potential der getesteten Substanzen und deren Azidität, pH-Werten, Phosphat- und Fluoridkonzentrationen sowie der Anfangshärte des Schmelzes [Lussi et al., 1993].

In einer weiteren Studie wurden durch Untersuchung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von acht englischen Sportlergetränkemarken die Risiken für die Zahnhartsubstanz bestimmt, die mit dem Konsum von Sportlergetränken verbunden sein könnten. Ermittelt wurden pH-Wert, titrierbare Säure, Kalzium-, Phosphat- und Fluoridgehalt und die Viskosität von Carbolode, Gatorade, High Five, Isostar, Lucozade Sport Lemon, Lucozade Sport Orange, Maxim and PSP22. Die pH-Werte reichten von 4,46 (Maxim) bis 2,38 (Isostar) und lagen damit unter dem kritischen Wert für die erosive Demineralisation von Schmelz (pH 4,5). Beide Lucozade-Getränke zeigten eine hohe titrierbare Säure, Gatorade, High Five und Isostar lagen in der Mitte, obwohl Isostar 74,5 ppm Ca^{2+} und 63,6 ppm Phosphat beinhaltete. Alle Getränke hatten nur eine geringe Fluoridkonzentration, und keines der Getränke war besonders viskös (innerhalb einer Spanne von 3,1-1,4 MPa·s). Es wurde geschlossen, dass alle untersuchten Getränke ein erosives Potential besitzen. Personen, die häufiger Sportlergetränke konsumieren, sollten sich regelmäßigen zahnärztlichen Kontrollen unterziehen und auf Erosionsbildung untersuchen lassen [Milosevic, 1997b].

Schon 1967 stellte Aeschbacher fest, dass Fruchtsäfte durch die in ihnen enthaltenen Säuren die Entstehung von Erosionen begünstigen können. In-vivo ließ sich bereits nach einer Expositionszeit des Schmelzes von 2½ Minuten mit Zitronen-, Orangen-, Grapefruit- oder Apfelsaft eine Veränderung der Schmelzhärte ermitteln. Eine wichtige Rolle spielten dabei der pH-Wert an der Zahnoberfläche, die Wirkung spezifischer Fruchtsäureanionen und die H^+ -Konzentration der einzelnen Säuren.

Die erosive Wirkung von Orangensaft wurde sehr anschaulich von West et al. (1998) in zwei Studien dargestellt. In der in-situ-Studie tranken 10 Probanden über einen Zeitraum von 15 Tagen hinweg 4mal täglich im Abstand von 2 Stunden innerhalb von 10 Minuten 250 ml Orangensaft (pH 3,74). Währenddessen trugen sie eine an einer intraoralen Apparatur befestigte Schmelzprobe. Die Kontrollgruppe folgte demselben Versuchsaufbau, trank aber statt dessen destilliertes Wasser. Die profilometrische Abtastung ergab einen kontinuierlichen Schmelzverlust beim Trinken von Orangensaft, der nach 15 Tagen durchschnittlich 2,77 μm betrug. Die Kontrollgruppe zeigte eine leichte Zunahme von 0,05 μm . Weiterhin wurde in-vitro dasselbe Versuchslayout durchgeführt (Lagerung der Schmelzproben in steriler Kochsalzlösung). Auch hier zeigte sich ein progressiver Verlust von Schmelz über die Periode von 15 Tagen; der durchschnittliche Gesamtverlust betrug beim Erodieren mit Orangensaft 24,20 μm , die Kontrollgruppe wies einen Zugewinn von 0,01 μm auf.

In einer anderen, schweizerischen in-situ-Studie wurde der erosive Effekt von zwei sauren Lutschpastillen im Vergleich mit Orangensaft bei neun Patienten im Hinblick auf Oberflächenhärte und -struktur untersucht. Sowohl eine der Lutschpastillen als auch Orangensaft bewirkten eine signifikante Erweichung des Schmelzes ($p=0,017$ bzw. $p=0,001$). Geschlossen wurde, dass ein exzessiver Genuss von sauren Lutschpastillen eine existierende Erosion verstärken kann [Lussi et al., 1997].

Entsprechend konnte in epidemiologischen Studien eine erhöhte Prävalenz von Erosionen in Personengruppen, die einer häufigen extremen Säureeinwirkung ausgesetzt sind, nachgewiesen werden.

Die bereits oben erwähnten Sportlergetränke erlangen besondere Bedeutung durch ihren niedrigen pH-Wert – durch Zusatz von Zitronensäure als Geschmacksstoff und zum Teil durch Kohlensäure – sowie den Zeitpunkt ihres Einsatzes als Volumen-

ersatz und zur Substitution von Mineralien während oder nach sportlichen Aktivitäten. Gerade dann liegt nämlich häufig eine verringerte Speichelproduktion durch Mundatmung und Adrenalinausschüttung vor, wodurch eine rasche Neutralisation des sauren Getränkes verhindert wird. Des Weiteren erfolgt durch die wiederholte Aufnahme des Sportlergetränkes während der sportlichen Anstrengung in kurzen zeitlichen Abständen immer wieder ein Säurenachschub.

In einer epidemiologischen Studie aus Großbritannien wurde daher untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Sportlergetränken und Erosionsbildung bestünde, da Sportlergetränke dieselbe Azidogenität wie Fruchtsäfte und kohlen säurehaltige Erfrischungsgetränke aufweisen. Teilnehmer der Studie waren 45 Sportler (25 Schwimmer und 20 Radfahrer) im Alter zwischen 13 und 23 Jahren (Durchschnitt 18 Jahre). Zahnhartsubstanzverlust bis zum Dentin konnte bei den Radfahrern signifikant häufiger festgestellt werden ($p < 0,05$), auch zeigten die Radfahrer vermehrt Abrieb an den Palatinalflächen der oberen Zähne ($p < 0,001$). Die Speichelfließrate war nach einminütigem Spülen mit einem der Sportlergetränke (0,47 ml/min) und Wasser (0,41 ml/min) signifikant niedriger ($p < 0,05$) verglichen mit den anderen Getränken. Es konnte jedoch keine Beziehung zwischen erosivem Zahnhartsubstanzverlust und dem Verzehr von Sportlergetränken gefunden werden. Dennoch wurde betont, dass Sportlergetränke ein erosives Potential aufweisen und als ätiologischer Faktor für Erosionen vor allem bei jungen Menschen in Frage kommen [Milosevic et al., 1997a].

Besonders anfällig für die Ausbildung von Erosionen sind auch Personen, die sich vegetarisch und/oder von Rohkost ernähren, wie epidemiologische Studien zeigten. Linkosalo und Markkanen (1985) wiesen beispielsweise nach, dass bei vegetarischer Ernährung die Prävalenz für Erosionen eindeutig erhöht ist. Sie untersuchten 26 Laktovegetarier und bildeten eine Kontrollgruppe gleichen Alters und Geschlechts. Es konnten bei über 75 % der Laktovegetarier Erosionen festgestellt werden (bei 26,9 % leichte, bei 19,2 % mittlere und bei 30,8 % schwere Formen). Hingegen zeigten sich in der Kontrollgruppe keinerlei Erosionen.

Auch die Studie von Ganss et al. (1999a) zeigte, dass eine Ernährung mit hohem Rohkostanteil ein erhöhtes Risiko für Erosionen birgt. Untersucht wurden 130 Perso-

nen, deren Nahrungsaufnahme zu mindestens 95 % aus Rohkost bestand. Bei 97,7 % waren Erosionen nachzuweisen, von denen 37,2 % an mindestens einem Zahn eine leichte Erosion und 60,5 % einen schweren erosiven Defekt hatten. Hingegen zeigte sich in der Kontrollgruppe bei 13,2 % keine Erosion, bei 55,2 % lediglich eine leichte Form der Erosion und bei 31,6 % mindestens ein Zahn mit schwerer Erosion.

Für häufig trainierende Schwimmer können schlecht gewartete Schwimmbäder ein weiteres extrinsisches Risiko zur Entwicklung von Erosionen der Zahnhartsubstanz darstellen, und zwar aufgrund von zu hohem Chloreinsatz und des damit verbundenen niedrigen pH-Wertes des Wassers [Centerwall et al., 1986].

Andere durch Umweltfaktoren hervorgerufene Erosionen, beispielsweise infolge berufsbedingter Exposition von säurehaltigen Dämpfen, wie in Batterie- (Prävalenz von 31 %, Erosionen nur an den Frontzähnen) [Petersen und Gormsen, 1991] oder Munitionsfabriken [ten Brugge Cate, 1968] sowie Tätigkeiten in der Chemie- [Levine, 1974] und Druckindustrie [Smith und Knight, 1984], sind unter dem Gesichtspunkt heutiger Vorschriften zum Schutz der Gesundheit am Arbeitsplatz in wesentlich geringerem Maße bedeutsam als dies noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts der Fall war. Doch sind auch in der heutigen Zeit noch einzelne Berufsgruppen, z. B. Weinverkoster [McIntyre, 1992; Wiktorsson et al., 1997], einer häufig wiederkehrenden hohen Säurebelastung (der pH-Wert von Wein liegt zwischen 3,0 und 3,6) ausgesetzt, die beim Verkosten von Weinen über einen Zeitraum von einer Stunde und länger andauern kann. Daher soll auf diese Berufsgruppe etwas näher eingegangen werden.

Weinverkoster und Sommeliers (aber auch viele Weintrinker) schwenken den Wein im Mund umher, um Geschmack und Geruch besser verteilen und aufnehmen zu können. Da zwischen dem Probieren der einzelnen Weine lediglich ausgespuckt bzw. kurz mit (Mineral-)Wasser ausgespült wird, fehlen Remineralisationsphasen für die Zahnhartsubstanz. Wenn dies häufig und über einen längeren Zeitraum hinweg geschieht, z. B. bei umfangreichen Weinproben, wo zum Teil innerhalb von 2½ Stunden über 100 Weine probiert werden [Chaudry et al., 1997], steigt die Gefahr der Erosionsbildung. Der Beruf des professionellen Weinverkosters gehört zu denen, die ein erhöhtes Risiko für Erosionsbildung zeigen [McIntyre, 1992].

1997 wurde eine Fallstudie zum Thema Erosion durch Weinverkostung publiziert. Bei dem Patienten handelte es sich um einen 52jährigen Mann, der aufgrund einer Mundschleimhautveränderung 1982 vorstellig wurde und zu diesem Zeitpunkt seit 23 Jahren professioneller Weinverkoster war und durchschnittlich 30 Weine pro Tag verkostete. Allgemeinanamnestisch war er bis auf einen insulinunabhängigen Diabetes unauffällig. Es konnten weder Bruxismus noch chronisches Erbrechen oder gastrointestinale Erkrankungen mit Regurgitation festgestellt werden. Er nahm auch keine exzessiven Mengen von kohlensäurehaltigen Erfrischungsgetränken, Fruchtsäften oder Zitrusfrüchten zu sich. Intraoral zeigten sich neben einem erosiven Lichen planus Erosionen der Zahnhartsubstanz, wobei die Palatinalflächen der Zähne 13-23 am stärksten (mit großflächiger Dentinbeteiligung) betroffen waren. Studienmodelle wurden angefertigt und dem Patienten empfohlen, eine fluoridhaltige Mundspüllösung und eine Zahnpasta für empfindliche Zahnhälse zu benutzen sowie die Anzahl der täglich verkosteten Weine zu reduzieren bzw. auf das Weinverkosten ganz zu verzichten. Der Patient wurde in den folgenden sieben Jahren immer wieder zu Kontrolluntersuchungen einbestellt, wobei sich eine stetige Progression der Erosionen zeigte. Seit 1989 wurden nahezu keine Veränderungen der Zahnerosionen mehr beobachtet. Dieser Halt im Fortschreiten der Erosionen fiel mit dem Ruhestand des Patienten zusammen [Chaudry et al., 1997].

Auch in einer schwedischen Studie aus dem Jahre 1997 konnte nachgewiesen werden, dass professionelle Weinverkoster ein deutlich erhöhtes Risiko bezüglich Erosionen der Zahnhartsubstanz aufweisen. Von den 19 qualifizierten Weinverkostern des staatlichen schwedischen Wein- und Spirituosenvertriebs (Vin & Sprit AB) wiesen 14 Erosionen auf (74 %), wobei sich der Schweregrad zwischen leicht und extrem bewegte. Zwei der 19 untersuchten Personen (10,5 %) wiesen schwere Erosionen mit mehr als einem Drittel Dentinbeteiligung auf. Diese Personen hatten mehr als 26 Jahre als Weinverkoster gearbeitet. Fünf Weintester (26,3 %) hatten lokalisierte Erosionen, die weniger als 1/3 des Dentins betrafen. Diese Testpersonen hatten alle mindestens fünf Jahre im ihrem Beruf gearbeitet. Sieben Personen (36,8 %) zeigten nur leichte Erosionen, die lediglich im Schmelz lokalisiert waren. Fünf der Weinverkoster zeigten keinerlei Erosionen, von diesen hatten drei weniger als zwei Jahre gearbeitet und die anderen beiden außer Weinen auch Spirituosen verkostet, die

einen wesentlich höheren pH-Wert ($>6,5$) aufweisen. Es wurde geschlossen, dass die Schwere der Schäden an der Zahnhartsubstanz abhängig von der Anzahl der Berufsjahre als professioneller Weinverkoster ist [Wiktorsson et al., 1997].

2.3.3 Intrinsische Faktoren

Endogene Ursachen für die Ausbildung von Erosionen treten durch den Kontakt von Magensäure (pH 1-1,5) mit den Zähnen auf. Somatische Ursprünge können u. a. in Alkoholabusus und gastrointestinalen Störungen (wie Reflux, Regurgitation, chronischer Verstopfung, Hiatushernien oder Ulzera des Verdauungstraktes) liegen [Imfeld, 1996a; Meurman und ten Cate, 1996; Scheutzel, 1996]. Auch Essstörungen, die zumeist psychosomatischen Ursprungs sind (Anorexie, Bulimie etc.), können zu Erosionen führen. Es ist jedoch anzumerken, dass Magensäure über 1-2 Jahre hinweg mehrmals pro Woche auf die Zahnhartsubstanzen einwirken muss, damit Erosionen entstehen [Scheutzel, 1996], was aber im Falle der Refluxkrankheit leicht vorkommen kann.

- Gastroösophagealer Reflux

Der gastroösophageale Reflux ist eine Erkrankung, die recht häufig auftritt. So verspürt etwa jeder 5. Mensch gelegentlich Refluxsymptome; bei etwa 6 % der Bevölkerung sind die Beschwerden so ausgeprägt, dass ein Arzt aufgesucht wird [Schettler und Greten, 1998]. Hinzu kommt, dass eine Refluxerkrankung häufig auch unerkannt bleibt: Scheutzel (1996) berichtete, dass etwa 7 % der gesunden Bevölkerung unerkannt täglich Refluxsymptome aufweisen würden, auch Kinder [Lussi, 1996]. Verbunden mit dem häufigen Kontakt der Zahnhartsubstanzen mit Magensäure bzw. -inhalt steigt das Risiko einer erosiven Schädigung.

So konnte in einer Untersuchung an 107 Refluxerkranken festgestellt werden, dass sich in 26 % der Fälle Erosionen manifestierten. Im Schnitt waren diese Patienten älter als diejenigen, die keine Erosionen aufwiesen (54 zu 49 Jahre) und waren schon längere Zeit (17 zu 11 Jahren) erkrankt [Meurman et al., 1994].

Jedoch zeigten sich in einer anderen Untersuchung an 109 Patienten mit Störungen des oberen Gastrointestinaltraktes nur in sieben Fällen (6,4 %) Erosionen der Zahnhartsubstanz, wobei vier Patienten unter ösophagealem Reflux litten und drei Ulzerationen im Duodenum aufwiesen. Die betroffenen Patienten waren zwischen 32 und 59 Jahre alt und waren seit längerer Zeit erkrankt (zwischen 5 und 40 Jahren) [Järvinen et al., 1988].

Andere Autoren wiesen nach, dass gastroösophagealer Reflux eine Erkrankung darstellt, die in allen Altersgruppen auftritt: Einer Studie von O'Sullivan et al. (1998) zufolge wurde bei Kindern eine Prävalenz von 17 % für das Auftreten von Erosionen ermittelt. Die Autoren untersuchten den Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Erosionen und dem Vorliegen eines gastroösophagealen Reflux bei Kindern. 53 Kinder zwischen 2 und 16 Jahren (Durchschnitt 4,9 Jahre) mit mittlerem bis schwerem gastroösophagealem Reflux wurden auf Erosionen hin untersucht. Neun Kinder zeigten Anzeichen einer Erosionsbildung, wobei eines dieser Kinder Erosionen bis ins Dentin aufwies. Geschlossen wurde aus den Ergebnissen, dass Erosionen der Zahnhartsubstanz bei Kindern mit gastroösophagealem Reflux nicht so ein großes Problem darstellen wie bei den Erwachsenen. Jedoch wurde darauf hingewiesen, dass der Reflux bei einigen Kindern eventuell nur auf den Ösophagus beschränkt gewesen sein könnte.

Shaw et al. (1998) konnten in ihrer an 51 Kindern (20 davon mit nachgewiesener Refluxerkrankung und 31 ohne Reflux) in Birmingham/Großbritannien durchgeführten Studie erkennen, dass gastroösophagealer Reflux deutlich zum Auftreten von Erosionen der Zahnhartsubstanz beiträgt.

- Essstörungen

Die ausgeprägtesten erosiven Läsionen werden gewöhnlich bei Patienten mit Essstörungen, sowohl mit psychiatrischem als auch gastrointestinalem Hintergrund, gefunden. In diesen Fällen kann die gesamte Dentition betroffen sein [Meurman und ten Cate, 1996]. Einen Hinweis auf vorliegende Essstörungen können die hauptsächlich an den Palatinalflächen der Oberkieferzähne (beginnend an den Schneidezähnen,

dann folgend Prämolaren und Molaren) lokalisierten Erosionen geben, da insbesondere bei Essstörungen psychosomatischen Ursprungs (Anorexia nervosa, Bulimie, nervöses Erbrechen sowie „voluntary reflux phenomenon“ [Gilmour und Beckett, 1993]) häufig saurer Mageninhalt in die Mundhöhle gelangt.

Differenzierte epidemiologische Daten liegen nicht vor. Die unterschiedlichen Studien zum Thema zeigen aber, dass weibliche Patienten deutlich häufiger Essstörungen aufweisen als männliche (Verhältnis 9:1) [Scheutzel, 1996; Öhrn et al., 1999]. Die Prävalenz für in Verbindung mit psychosomatischen Störungen auftretende Essstörungen in den westlichen Industrienationen und Nordamerika wird mit 5 % der Frauen im Alter zwischen 20 und 30 Jahren angegeben [Scheutzel, 1996; Öhrn et al., 1999].

In der Untersuchung von Öhrn et al. (1999) wurden verschiedene Daten von 81 Patienten (79 Frauen und 2 Männer, Alter zwischen 17 und 47 Jahren) mit diagnostizierten Essstörungen einer psychiatrischen Klinik in Schweden erhoben. Mehr als die Hälfte der Personen wiesen Erosionen mit Dentinbeteiligung auf. Es konnte im Vergleich mit einer Kontrollgruppe (48 Frauen und vier Männer zwischen 19 und 41 Jahren) festgestellt werden, dass die Erosionen mit der Dauer der Erkrankung in Verbindung standen. Weiterhin erkannte man, dass Personen mit erkannter Essstörung sowohl ein höheres Risiko für die Entstehung von Karies als auch von Erosionen haben. Es wurde auch festgestellt, dass sie eine niedrige Fließrate unstimulierten Speichels und eine geringe Pufferkapazität im stimulierten Speichel aufwiesen.

In einer finnischen Studie wurden 35 Bulimie-Patientinnen (Durchschnittsalter $25,3 \pm 6,8$ Jahre) und 105 Kontrollpatienten gleichen Alters ($25,7 \pm 7,0$ Jahre), Geschlechtes und Bildung untersucht. Es zeigte sich, dass Erosionen, Abrasion und Attrition bei Bulimie-Patienten 1,5-6mal häufiger waren als bei den Kontrollpatienten. 63 % der Bulimie-Patienten wiesen Erosionen auf, gegenüber 11 % in der Kontrollgruppe (in den meisten Fällen leichte Erosionen). Auch wurde festgestellt, dass die Anzahl der Individuen mit erniedrigtem unstimuliertem Speichelfluss in der Bulimie-Gruppe dreimal höher lag [Rytömaa et al., 1998].

Ob es jedoch als Folge von Störungen des oberen Gastrointestinaltraktes, spezifischen metabolischen und endokrinen Störungen, Nebenwirkungen von Medikamen-

ten und Drogenmissbrauch oder psychosomatischen Störungen zu Erosionen kommt, und wie stark und schnell sie verlaufen, hängt nicht nur von der Häufigkeit und der Dauer des Erbrechens oder der Regurgitation ab, sondern auch von den Mundhygienegewohnheiten des Patienten, nachdem seine Zähne mit Magensäure in Kontakt gekommen sind. Aus einer Säureeinwirkung auf die Zahnoberfläche resultiert nämlich eine „erweichte Schmelzoberfläche“, welche gegenüber mechanischer Beanspruchung wie Attrition und Abrasion deutlich weniger widerstandsfähig ist als eine nicht alterierte Oberfläche, wie schon etliche Autoren zeigen konnten [Davis und Winter, 1980; Bartlett et al., 1994; Lussi, 1996; Attin et al., 1997b].

2.4 Therapie bei erosiv bedingten Zahnhartsubstanzverlusten

Im Gegensatz zu einer kariösen Läsion, die nach Überschreiten eines bestimmten Stadiums einer restaurativen Therapie bedarf, kann eine erosive Läsion unabhängig von ihrer Ausprägung zum Stillstand kommen, wenn geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Aus diesem Grunde hat hier ein kausal-präventives Vorgehen deutlichen Vorrang vor einer symptomatisch-restaurativen Therapie.

Der erste Schritt ist dabei die Identifikation der sauren Noxe durch eine gründliche Anamneseerhebung und die Anfertigung eines Ernährungsprotokolls durch den Patienten. Das Protokoll sollte nach Lussi (1996) über einen Zeitraum von fünf Tagen geführt werden, wobei ein Wochenende enthalten sein muss. Zur Bewertung der Aufnahmehäufigkeit und der Verweildauer säurehaltiger Nahrungsmittel sollte Uhrzeit, Qualität und Quantität der Nahrungsaufnahmen wiedergegeben werden. Ziel ist die Meidung der erosiven Noxe.

Jedoch ist der auslösende Faktor nicht immer zu identifizieren; so stellen beispielsweise intrinsische Faktoren eine potentielle, durch den Patienten nicht beeinflussbare Säurebelastung der Zahnhartsubstanzen dar. Eine generelle Vermeidung des Kontaktes von Säuren mit den Zähnen erscheint auch deswegen nicht möglich zu sein, da es schließlich unzumutbar und allgemein medizinisch falsch wäre, z. B. den Genuss von Früchten zu verbieten [Schweitzer-Hirt et al., 1978], deren natürliche Zusam-

mensetzung nicht verändert werden kann, um Erosionen zu verhindern. Nichtsdestotrotz gibt es Ansätze, das erosive Potential von Nahrungsmitteln zu ermitteln und durch verschiedene Zusätze bzw. Änderung der Zusammensetzung zu senken.

2.4.1 Modifikation von Getränken

In Untersuchungen, die sich mit dem erosiven Potential von Getränken beschäftigt haben, stellte sich heraus, dass Getränke mit hohem erosiven Potential eine starke Untersättigung an Phosphat- und Kalzium-Ionen aufwiesen [Lussi et al., 1993]. Die direkte Modifikation von bestimmten Nahrungsmitteln und Getränken durch Zusätze von Phosphat, Kalzium und Fluorid kann daher einen Ansatz zur Verringerung des Erosionspotentials darstellen [Lussi et al., 1995; Grenby, 1996; Stösser und Nekrashevych, 1998; Hughes, 1999a und b; Larsen und Nyvad, 1999; West, 1999], denn Kalzium und Phosphat sowie ein alkalisches bzw. neutrales Milieu sind für eine Remineralisation unabdingbar [Imfeld, 1996b]. Weiterhin ist die Modifikation von Lebensmitteln nicht von der Compliance der Patienten abhängig [Rugg-Gunn et al., 1998].

So konnte in der oben zitierten Studie gezeigt werden, dass Sprite light, als Getränk ohne Phosphat- und mit geringem Kalzium- und Fluoridgehalt, die stärkste signifikante Verringerung der Mikrohärtigkeit bewirkte ($p=0,05$), gefolgt von Grapefruit-, Apfelsaft und Salatdressing. Hingegen zeigte sich, bei annähernd gleichem pH-Wert, bei einem Sportlergetränk mit hohem Phosphatgehalt (Perform, 5,93 mmol/l, pH 3,90) eine geringere Erosivität als bei einem Sportlergetränk mit geringem Phosphatgehalt (Isostar fresh, 1,61 mmol/l, pH 3,83) [Lussi et al., 1993].

Auch in einer Studie über die Gefahren von Sportlergetränken für die Zahnhartsubstanz wurde erkannt, dass Getränke mit höherem pH, geringerer titrierbarer Säure und höheren Konzentrationen von Kalzium, Phosphat und Fluorid das erosive Potential reduzieren [Milosevic, 1997b].

- Zusatz von Kalzium und Phosphat

Der Zusatz von effektiven Mengen an Kalzium und Phosphat zu Speisen und Getränken ist sowohl vom physikalisch-chemischen als auch vom gesetzlichen Standpunkt aus problematisch [Rugg-Gunn et al., 1998]. Ebenso muss angemerkt werden, dass durch Zugabe von Kalzium- und/oder Phosphatsalzen zu Nahrungsmitteln und Getränken sowohl der pH-Wert als auch der Geschmack verändert wird, abhängig vom zugefügten Salz und der Menge. Kalzium kann dabei einen kreidigen Geschmack bewirken. Jedoch ist beispielsweise Orangensaft dazu geeignet, um eine Kalziumzugabe geschmacklich zu maskieren (entsprechende Produkte existieren auf dem deutschen Markt). Larsen und Nyvad (1999) konnten nachweisen, dass Orangensaft (pH 4,0), dem 40 mmol/l Kalzium und 30 mmol/l Phosphat zugefügt war, keine Erosionen am Zahnschmelz hervorrief. So wurde erkannt, dass es sinnvoll sein könnte, Getränke bis zu einem pH-Wert von 4,0 und darunter mit Kalzium- und Phosphat-Additiven zu versehen, um die Erosionsgefahr zu senken.

Mit einem experimentellen schwarzen Johannisbeersaft (pH 3,8), dem 350 ppm Ca^{2+} zugefügt war, konnte sowohl in-situ als auch in-vitro eine deutliche Reduktion des erosiven Potentials im Vergleich zu Orangensaft (pH 3,8; 70 ppm Ca^{2+}) bewirkt werden: 12 Probanden trugen über 15 Werktagen (9-17 Uhr) hinweg intraoral Schmelzproben, die alle zwei Stunden durch Trinken von 250 ml Johannisbeer-, Orangensaft oder Wasser erodiert wurden. Das gleiche Modell wurde in-vitro durchgeführt. Der gemessene Schmelzverlust betrug in-situ (in-vitro) für Orangensaft 2,54 (22,18) μm , Johannisbeersaft 0,41 (5,2) μm (Wasser: 0,19 (0,00) μm) [Hughes et al., 1999a].

Durch Weiterentwicklung dieses experimentellen schwarzen Johannisbeersaftes (Zusatz von 0,1 Gew.% Laktat, 0,295 Gew.% Citrat und 480 ppm Kalzium; pH 3,85) konnte, bei gleichem Versuchsaufbau wie zuvor, im Vergleich mit Orangensaft (0,88 Gew.% Citrat und 167 ppm Ca^{2+} ; pH 3,95), Wasser (29 ppm Ca^{2+} ; pH 7,8) und handelsüblichem Johannisbeersaft (0,16 Gew.% Citrat; 20 ppm Ca^{2+} ; pH 2,85) die wenig erosive Wirkung in-situ und in-vitro bestätigt werden. Der gemessene Schmelzverlust (in μm) betrug dabei in-situ (in-vitro) bei experimentellem Johannisbeersaft 0,44 (1,78), Orangensaft 1,70 (13,02), Wasser 0,05 (0,00) und Johannisbeersaft 2,75 (39,02) [West et al., 1999].

In einer dritten Studie wurde der zu Ende entwickelte Johannisbeersaft sowie sein Konzentrat einem erneuten Vergleich mit säurehaltigen Fruchtgetränken (Orangensaft- sowie Apfel-/schwarze Johannisbeerkonzentrat) und Wasser als Kontrolle unterzogen (gleicher Versuchsaufbau wie zuvor). Aus 50 ml Konzentrat wurden 250 ml Flüssigkeit hergestellt. Es zeigte sich ein Verlust von 0,28 μm (Johannisbeersaftkonzentrat), 0,35 μm (Johannisbeersaft), 2,04 μm (Orangensaftkonzentrat), 8,29 μm (Apfel-/Johannisbeerkonzentrat) und 0,08 μm (Wasser). Geschlossen wurde aus den Ergebnissen, dass durch Fruchtgetränke mit niedrigem pH in einem Zeitraum von zwei bis 20 Jahren bis zu 1 mm Schmelz erosiv verloren gehen kann. Das wenig erosive Johannisbeergetränk hingegen würde 100 Jahre dazu benötigen [Hughes et al., 1999b].

Grenby (1996) berichtete, dass die Forschung über Kalzium und Phosphat-Zusätze dazu führte, dass ein wenig-erosives Fruchtgetränk entwickelt wurde, dem Calcium-Citrat-Malat (4:2:3) zugesetzt wurde. Dieser Zusatz sei geeignet, um das erosive Potential von Getränken zu mindern [Andon et al., 1992]. Hingegen konnten Rugg-Gunn et al. (1998) in ihrer Untersuchung nicht bestimmen, ob Calcium-Citrat-Malat eine Verringerung des Erosionspotentials von säurehaltigen Getränken bewirkte. Die durch die beiden im Versuch verwendeten zitronensäurehaltigen Getränke hervorgerufenen Erosionen unterschieden sich statistisch nicht signifikant von der Kontrollgruppe (destilliertes Wasser).

- Zusatz von Fluorid

Lussi et al. (1995) erkannten in einer weiteren Studie, dass die geringste Schmelzerweichung von den Getränken mit dem höchsten Fluoridgehalt induziert wurde. Auch Larsen und Nyvad (1999) konnten bei Mineralwässern mit einem Fluoridgehalt von 1,8 ppm keine messbare Erosion ermitteln im Gegensatz zu anderen mit einem Fluoridgehalt von nur 0,2-0,3 ppm. Gegen einen generellen Zusatz von Fluorid zu Getränken mit hohem Erosionspotential spricht, dass bei einem freien Verkauf derart modifizierter Produkte keinerlei Kontrollmöglichkeit bezüglich der täglich eingenommenen und systemisch wirksamen Menge bestünde. Es entstünde das Risiko

einer überhöhten Aufnahme [Grenby, 1996]. Auch schien der Zusatz von Fluoriden in tolerierbarer Dosierung keinen deutlichen Effekt bezüglich der Reduktion des erosiven Potentials eines Getränkes zu haben [Amaechi et al., 1998a; Larsen und Nyvad, 1999].

Die Kombination von Xylitol und Fluorid (25 Gew.% und 0,5 ppm) zeigte jedoch in-vitro einen signifikanten ($p < 0,05$) additiven Effekt bei der Reduzierung von durch Orangensaft erzeugten Erosionen der Zahnhartsubstanz. Xylitol wird seit einigen Jahren als künstlicher Süßstoff benutzt, kommt aber auch natürlich in vielen Früchten, Beeren und Gemüsen vor. Xylitol ist in der Lage, mit Kalzium-Ionen Komplexe einzugehen und demineralisierten Schmelz zu penetrieren. Durch die Funktion als Ca^{2+} -Träger und kalziumkonzentrierendes Mittel könnte es, durch Absenkung der Dissoziationskoeffizienten von Kalzium- und Phosphat-Ionen, Erosionen verhindern [Amaechi et al., 1998a].

Die Modifikation anderer erosionsbegünstigender Faktoren, wie hoher Säuremenge oder ungenügende Pufferung von Lebensmitteln, stellt sich problematisch dar, denn eine Verringerung der Säuremenge oder eine stärkere Pufferung hätte eine so gravierende Auswirkung auf den Geschmack, dass ein Einsatz in dem Verbraucher bereits bekannten Produkten nicht in Frage käme. Es muss auch bedacht werden, dass die den Lebensmitteln zugesetzten Säuren häufig eine konservierende Aufgabe haben [Grenby, 1996].

Einen anderen Ansatz könnte jedoch die Kombination der (potentiell erosiven) Nahrungs- oder Getränkeaufnahme mit der Aufnahme von Milchprodukten darstellen, um eine Untersättigung des Schmelzes zu vermeiden oder aber zumindest die Zeitspanne der Untersättigung zu verringern. In Milchprodukten sind reichlich Kalzium- und Phosphor-Verbindungen enthalten, so dass bei gleichzeitiger bzw. unmittelbar auf den Säurekontakt folgender Aufnahme von Milchprodukten die Untersättigung der Zahnhartsubstanzen an den genannten Ionen abgepuffert und damit verkürzt bzw. vermieden werden würde. Weitere Untersuchungen an Milchprodukten ergaben, dass spezifische Glykoprotein- oder Protease-Peptid-Fraktionen beim Schutz des Hydroxylapatits gegen Demineralisation eine Rolle spielen könnten [Reynolds et al. zitiert in Grenby, 1996].

2.4.2 Prophylaxe durch lokalen Fluorideinsatz

Gebräuchliche Fluoridverbindungen für die lokale Fluoridierung sind Natriumfluorid, Natriummonofluorphosphat, Aminfluorid und Zinnfluorid. Sie finden Anwendung in fluoridhaltigen Zahnpasten, Mundspüllösungen, Gelen und Lacken.

Bei der Reaktion von Fluorid mit dem Zahnschmelz unterscheidet man vier grundsätzliche Reaktionsmechanismen [Hellwig et al., 1995; van Strijp, 1999]:

1. Unspezifische Adsorption
2. Spezifische Adsorption
3. Auflösung des Apatits und Repräzipitation von fluoridiertem Apatit
4. Auflösung des Apatits und Repräzipitation von CaF_2

Aufgrund der Tatsache, dass durch Erosion die Zahnhartsubstanz nahezu ohne Alteration des unter der Oberfläche liegenden Schmelzes Schicht um Schicht aufgelöst wird, handelt es sich bei der Wiedererhärtung von erodiertem Schmelz nicht um eine „restitutio ad integrum“ durch reversibles Wachstum der angeätzten und teilweise aufgelösten Apatitkristalle, denn die erosiv veränderten Zahnhartsubstanzareale weisen nahezu keine remineralisierbaren Strukturen auf. Deshalb ist der einzig mögliche „Reparatur“-Mechanismus die Präzipitation von amorphen Kalzium-Phosphat-Fluoridschichten, die in Säure schlecht löslich sind [Schweitzer-Hirt et al., 1978; Attin et al., 1999].

In verschiedenen Studien zum erosionsbedingten Zahnhartsubstanzverlust wurde die Schmelzhärtung durch lokale Applikation von Fluoriden als positive Möglichkeit zur Verringerung der Substanzverluste vorgeschlagen [Davis und Winter, 1980; Collys et al., 1993; Rugg-Gunn, 1993; Bartlett et al., 1994; Sorvari et al., 1994; Attin et al., 1997a; Büyükyilmaz et al., 1997; Ganss et al., im Druck, 1999b; Hall und Foye, 1998; Stösser und Nekrashevych, 1998; Attin et al., 1999], von denen im folgenden stellvertretend einige Studien kurz dargestellt werden sollen.

Durch die Kombination verschiedener lokaler Fluoridierungsmaßnahmen (fluoridhaltige Zahnpasta (kein Bürsten) und Mundspüllösung sowie Fluoridgel) konnte in-vitro eine 20%ige Reduktion des Hartschmelzverlustes durch Erosion (0,05 M Zitronensäure) gegenüber der Kontrollgruppe erreicht werden. Die Auswertung erfolgte mittels longitudinaler Mikroradiographie [Ganss et al., im Druck].

Ebenso konnten Sorvari et al. (1994) in-vitro an mit Fluoridlack (2,26 % F⁻, 24 Stunden) bzw. einer Natrium-Fluorid-Spülung (1,2 % F⁻, 48 Stunden) behandelten 3. Molaren eine Verhinderung von initialen Erosionen durch ein Cola-Getränk (pH 2,6) aufzeigen.

Titantetrafluorid (TiF₄) stellt eine weitere Form der Fluoridverbindungen dar. Dieser Metall/Fluorid-Komplex kann für die Prävention von endogenen Erosionen geeignet sein. In einem in-vitro-Versuch konnte die Resistenz von menschlichen Schmelzstücken, die mit 4%iger TiF₄-Lösung behandelt worden waren, gegenüber schweren Säureangriffen (hier Chlorwasserstoffsäure, pH 1,2) sowohl mit dem Rasterelektromikroskop als auch mittels Mikrohärtemessung nachgewiesen werden [Büyükyılmaz et al., 1997].

2.4.3 Vermeidung zusätzlicher Substanzverluste durch Mundhygienetechniken

Der Abrieb von Zahnhartsubstanz kommt fast immer durch die Wirkung verschiedener Faktoren zustande [Schweitzer-Hirt et al., 1978], wobei stets Erosion, Attrition und Abrasion zusammen agieren, in von Mal zu Mal verschieden starken Ausprägungen [Meurman und ten Cate, 1996]. Besonderes Augenmerk ist hierbei auf Abrasionen durch Mundhygienemittel wie Zahnbürsten und -pasten zu legen. Mundhygieneprodukte weisen einen pH-Wert von 5-7 (Mundspüllösungen) bis 5,8-7,25 (Zahnpasten) auf [Grenby, 1996], so dass eine zusätzliche erosive Alteration unwahrscheinlich ist. Jedoch kann man schon an nicht erweichtem Schmelz Substanzverluste, z. B. durch die Borsten der Zahnbürste oder durch Abrasivstoffe in Zahnpasten, nachweisen. Das Ausmaß der Abrasion ist dabei von der relativen Härte der Putzkörper im Vergleich zum Substrat (der Zahnoberfläche) abhängig [Wang und Smith, 1995 und 1996]. Wir konnten allerdings in einem Vorversuch (fünf Tage, täglich 5

min Bürsten mit 3 N Auflagekraft) feststellen, dass der durch Bürsten mit fluoridfreier Zahnpasta (Aronal) an nicht-erodiertem Schmelz hervorgerufene Substanzverlust lediglich in einem Bereich von $1,34 \pm 0,59 \mu\text{m}$ lag.

Beim Bürsten von nicht-erodiertem Zahnschmelz mit fluoridfreier Zahnpasta und einem Anpressdruck von 2 N konnte nach 5 000 Bürstbewegungen ein Verlust von $1,36 \mu\text{m}$ Schmelz gemessen werden [Davis und Winter, 1980]. Eine andere Studie zeigte einen Verlust von $0,17 \pm 0,08 \mu\text{m}$ gesundem Schmelz nach 40minütigem Putzen mit fluoridfreier Zahnpasta (REA 4,2 \pm 0,3) in einer Zahnputzmaschine (Oral B-Bürstenköpfe, Auflagegewicht 275 g, 200 Bewegungen/min) [Attin et al., 1997b]. Attin et al. (2000) zeigten kürzlich in einer weiteren Untersuchung jedoch einen Verlust von $0,22 \pm 0,15 \mu\text{m}$ Schmelz durch 30sekündiges Bürsten mit fluoridfreier Zahnpasta (Sensodyne Classic) in einer Zahnputzmaschine (400 g Auflagegewicht). Beim Bürsten mit fluoridhaltiger Zahnpasta konnte nach 50 000 Bürstzyklen (Zahnputzmaschine mit Oral B 40 Bürstköpfen, 200 g Auflagegewicht, 150 Bewegungen/min), abhängig von der verwendeten Zahnpasta, ein Schmelzverlust zwischen $1,8 \pm 0,75$ und $2,5 \pm 0,50 \mu\text{m}$ ermittelt werden [Murray et al., 1986].

Insgesamt zeigten diese Studien, dass durch die alleinige Abrasionswirkung der Zahnbürste und –pasta nur ein relativ geringer Zahnhartsubstanzverlust eintritt. Wenn jedoch die Oberfläche des Zahnes durch Säureeinwirkung erweicht wird, so ist der Abtrag deutlich erhöht. Kelly und Smith (1988) stellten fest, dass schon alleinige Erosion zu einem größeren Verlust von Zahnhartsubstanzen führte als alleinige Abrasion. In Kombination zeigten Erosion und Abrasion jedoch einen signifikant größeren Abtrag an Zahnhartsubstanz als die Summe der einzelnen Verluste [Bartlett et al., 1994]. Andere Autoren wiesen in ihrer Untersuchung nach, dass die Abrasion von erodiertem Schmelz überproportional zur Abnahme der Oberflächenhärte stieg [Attin et al., 1997b].

2.4.4 Bürstabrasionen an erodiertem Schmelz

Rasterelektronenmikroskopisch konnte morphologisch in einem in-situ-Experiment nachgewiesen werden, dass beim Putzen einer bei pH 4,5 erodierten Schmelzoberfläche ohne Zahnpasta weniger Substanz verloren ging als beim Putzen mit einer abrasiven Zahnpaste [Kuroiwa et al., 1992].

Quantitative Studien zeigten unterschiedlich hohe Zahnhartsubstanzenverluste erodierter Oberflächen bei Anwendung von fluoridfreier bzw. -haltiger Zahnpasta:

- Bürsten einer erodierten Oberfläche mit fluoridfreier Zahnpasta

Davis und Winter (1980) konnten in-vitro bereits nach 45sekündiger Erosion in einem Grapefruit-Speichel-Gemisch (pH 3,5) einen Verlust von $0,3 \pm 0,06 \mu\text{m}$ Schmelz messen. Durch das anschließende Putzen mit einer fluoridfreien Zahnpasta (Anpressdruck 2 N) wurden nach 20 Bürstbewegungen $0,067 \pm 0,04 \mu\text{m}$, nach 50 Bürstbewegungen $0,09 \pm 0,02 \mu\text{m}$ und nach 5 000 Bürstbewegungen $0,19 \pm 0,06 \mu\text{m}$ Schmelz abradiert. Andere Autoren zeigten in-vitro, dass beim Bürsten mit fluoridfreier Zahnpasta nach einminütiger Erosion in Sprite light ein Schmelzverlust von $5,16 \pm 1,26 \mu\text{m}$ auftrat, wovon etwa 1/5 auf die Erosion und der Rest auf die anschließende Abrasion entfiel [Attin et al., 2000].

- Erodieren und Bürsten mit fluoridhaltiger Zahnpasta

Schweitzer-Hirt et al. (1978) ermittelten in-vitro nach 5minütigem Erodieren in Orangensaft (pH 3,4) und 2minütigem Putzen mit einer Handzahnbürste und Sensodyne-Zahnpasta einen Substanzverlust von mindestens $3 \mu\text{m}$.

In-situ konnten Jaeggi und Lussi (1999a) beim 30sekündigen Bürsten mit fluoridhaltiger Zahnpasta (REA $4,2 \pm 0,3$) direkt nach dem Erodieren (3 min in 0,1 M Zitronensäure; pH 3,5) einen Schmelzsubstanzenverlust von $0,258 \pm 0,141 \mu\text{m}$ nachweisen.

Vergleichsstudien mit fluoridhaltiger und fluoridfreier Zahnpasta zeigten eine geringere Ausprägung des Zahnhartsubstanzverlustes durch Erosion und Abrasion bei Anwendung von fluoridhaltiger Zahnpasta: Nach 5minütigem Erodieren in 6%iger Zitronensäure (pH 3,5) wurden in-vitro 200 reziproke Putzbewegungen mit einer Oral B P35 Zahnbürste (Anpressgewicht 20 g) durchgeführt. Dieser Vorgang wurde 720mal wiederholt. Beim Einsatz der fluoridhaltigen Zahnpasta (1 236 ppm F⁻ als 0,94 % Natriummonofluorophosphat) ging im Schnitt $1,89 \pm 0,79 \text{ mm}^2$ Substanz verloren, wenn fluoridfreie Zahnpasta verwendet wurde, hingegen $3,21 \pm 1,26 \text{ mm}^2$. Fluoridhaltige und fluoridfreie Zahnpasta wiesen den gleichen RDA-Wert (radioactive dentine abrasion) auf. Geschlossen wurde, dass hohe Fluoridkonzentrationen in Zahnpasten zur Reduktion von Schmelzverlust als Kombination von Erosion und Abrasion beitragen können, und dass Patienten mit nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten fluoridhaltige Zahnpasta benutzen sollten [Bartlett et al., 1994].

Ähnliches zeigte sich in der in-vitro-Untersuchung von Hall und Foye (1998), in der der Effekt von fluoridierter und nichtfluoridierter Zahnpasta beim Bürsten von erosiv verändertem Zahnschmelz ermittelt wurde. Die Schmelzproben wurden über fünf Tage fünfmal täglich für 5 min mit einer auf Phosphorsäure basierenden Lösung (pH 3,1) erodiert. Drei Gruppen wurden entweder mit fluoridhaltiger Zahnpasta (1 100 ppm bzw. 1 300 ppm) oder mit fluoridfreier Zahnpasta zweimal täglich 30 s direkt nach dem Erodieren geputzt. Zwei weitere Gruppen wurden nur dem Zahnpasta-Slurry (=Aufschlämmung) ausgesetzt, es erfolgte kein Putzen, und die Kontrollgruppe wurde lediglich erodiert. Die Quantifizierung des Substanzverlustes wurde mittels Mikroradiographie durchgeführt. Der Durchschnittsverlust aller Gruppen betrug $38,7 \pm 8,0 \text{ }\mu\text{m}$. Verglichen mit alleiniger Erosion oder Erodieren mit nachfolgendem Putzen mit fluoridfreier Zahnpasta, verminderte der Einsatz fluoridierter Zahnpasta generell den Substanzverlust.

- Erosion, Abrasion mit fluoridhaltiger Zahnpasta und zusätzliche Fluoridierungsmaßnahmen

Imfeld (1996b) empfahl einen intensiven Fluorideinsatz bei Patienten mit erosiven Läsionen. Wie bereits oben erwähnt, konnte durch intensive lokale Fluoridierung eine Reduktion des Substanzverlustes durch Erosion gezeigt werden [Ganss et al., im Druck]. Inwieweit intensive Fluoridierungsmaßnahmen auch die Abrasion des erodierten Schmelzes beeinflussen, wurde in folgender Studie untersucht:

Valk et al. (1986) untersuchten in-vitro die Widerstandsfähigkeit von säuregeätztem Schmelz gegenüber Zahnputzabrasionen mit fluoridhaltiger Zahnpasta. Der Schmelz wurde mit 36%iger Phosphorsäure 60 s lang geätzt; die Abrasionen wurden anschließend mit einer Zahnputzmaschine (125 g Auflagegewicht, 9 600 Bürstbewegungen bei 2 600/h) und fluoridhaltiger Zahnpasta erzeugt bzw. vor dem Bürsten APF (acidified phosphated fluoride) aufgetragen. Es stellte sich heraus, dass durch alleiniges Ätzen $10,8 \pm 0,74 \mu\text{m}$ bzw. bei vorheriger Fluoridapplikation $10,6 \pm 1,37 \mu\text{m}$ Substanz verloren gingen. Nach dem Bürsten (der Verlust durch das Bürsten betrug $3,4$ bzw. $2,6 \mu\text{m}$) zeigte sich ein Gesamtverlust von $14,2 \pm 1,16 \mu\text{m}$ bzw. $13,2 \pm 1,45 \mu\text{m}$. Weiterhin wurde der Fluoridgehalt in den äußeren $40 \mu\text{m}$ -Schichten des Schmelzes nach dem Bürsten bestimmt. Hier zeigte sich ein durchschnittlicher Gehalt (in $\mu\text{g F}^-/\text{mm}^2$) von $0,060 \pm 0,011$ für den geätzten Schmelz und ein ca. 9fach höherer für den geätzten und mit APF behandelten ($0,551 \pm 0,207$). Geschlossen wurde daraus, dass die Fluoridierung von geätztem Schmelz einen deutlichen prophylaktischen Effekt zeigt, der sogar noch nach der durch das Bürsten hervorgerufenen Abrasion bestehen bleibt.

In der Studie von Attin et al. (1999) wurde die Wirkung von konzentriertem Fluoridgegel bei Abrasion von erodiertem Schmelz untersucht. Der Versuchsaufbau beinhaltete die Demineralisierung in Sprite light (5 min), Remineralisation (1 min), Bürsten in einer Zahnputzmaschine (2 000 Bürstbewegungen; 2,5 N Auflagekraft), Remineralisation (1 min). Nach zwei Durchgängen erfolgte die 8stündige Lagerung der Schmelzproben in Remineralisationslösung. Die Versuchsgruppen sahen wie folgt aus: Gel A (pH 7,0) und Gel B (pH 4,5) waren fluoridfrei, Gel C (pH 7,0) und Gel D (Elmex gelée; pH 4,5) enthielten 1,25 % F^- . Die profilometrische Messung ergab

folgende statistisch signifikante Werte ($p < 0,01$): Gel A $0,96 \pm 0,24 \mu\text{m}$; Gel B $1,58 \pm 0,32 \mu\text{m}$; Gel C $0,71 \pm 0,23 \mu\text{m}$; Gel D $0,25 \pm 0,08 \mu\text{m}$. Die Autoren gaben an, dass eine Behandlung von Schmelzerosionen mit „saurem“ Fluoridgel in einer größeren Widerstandsfähigkeit gegenüber Abrasionen resultiert, verglichen mit unfluoridiertem oder neutralem Gel.

In einer weiteren in-vitro-Untersuchung von Ganss et al. (1999b) wurde festgestellt, dass sowohl das Putzen vor einem Säureangriff als auch der intensive Einsatz von fluoridhaltigen Zahnpasten (Zahnpasta mit 0,15 % F^- und Gel mit 1,25 % F^-) eine signifikante Verringerung der Abrasionen von erodiertem Schmelz bewirkten ($p < 0,01$ bzw. $p < 0,001$).

Diese in-vitro-Studie gab uns Anlass, die dort gefundenen Ergebnisse in einer in-situ-Studie zu verifizieren und neue Therapieansätze zu erforschen, da wenig darüber bekannt ist, welche Empfehlungen zur Minimierung von Bürstabrasionen von erodierter Zahnhartsubstanz gegeben werden sollten. Lussi (1991 und 1996) z. B. empfahl, dass Patienten, die ein Risiko für Erosionsbildung aufweisen, nach jedem Säurekontakt mit einer schwach fluoridhaltigen Mundspüllösung bzw. mit klarem Wasser spülen und sowohl das Zähneputzen direkt nach einem Säureangriff als auch den Gebrauch einer abrasiven Zahnpaste unterlassen sollten. Jedoch konnten die bisher in-vitro durchgeführten Studien zum Thema Putzzeitpunkt und Fluorideinsatz keine eindeutigen Hinweise darauf geben, welches Procedere in-vivo nach einem Säurekontakt mit der Zahnhartsubstanz am geeignetsten wäre.

3 Probanden, Material und Methode

3.1 Probanden

Für die Studie konnten sechs Probanden (zwei weiblich, vier männlich) gewonnen werden. Das Durchschnittsalter betrug 31,8 Jahre.

Einschlusskriterien für die Teilnahme waren

- keine schweren Allgemeinerkrankungen,
- keine Medikamenteneinnahme (besonders solche, die die Speichelfließrate hätten beeinflussen können),
- ein kariesfreies und ausreichend versorgtes Gebiss
- kein herausnehmbarer Zahnersatz
- eine mindestens durchschnittliche Mundhygiene.

3.1.1 Analyse der Speichelparameter

Zur Beurteilung der Speichelmenge und –qualität wurden bei jedem Probanden die Parameter unstimulierte und stimulierte Fließrate, pH-Wert, Pufferkapazität und Fluoridgehalt bestimmt.

Die Speichelproben der einzelnen Probanden wurden in Anlehnung an die Empfehlung von Tenovuo (1989) jeweils zur gleichen Uhrzeit und mindestens eine Stunde nach der letzten Nahrungsaufnahme gewonnen und bis zur Weiterverarbeitung bei minus 18 °C eingefroren.

Zur Bestimmung der Fließrate von unstimuliertem Speichel wurde nach einem initialen Schlucken der sich spontan sammelnde Speichel über einen Trichter für 5 Minuten in einem skalierten Messgefäß aufgefangen. Am Ende der Messzeit wurde vom Probanden sämtlicher verbliebener Speichel gesammelt und in das Gefäß ausgespuckt.

Danach wurde jedem Probanden ein Paraffinblock (Mat. 27) zur Speichelstimulation ausgehändigt. Wiederum wurde zuvor geschluckt und danach, während des Kauens, zwei Minuten lang Speichel gesammelt.

Die pH-Wert-Bestimmung des Speichels erfolgte mit einem pH-Meter (Mat. 17).

Daraufhin wurde in Anlehnung an Ericsson (1959) die Pufferkapazität der Speichelproben gemessen:

Den durch zweimaliges Umdrehen des Sammelröhrchens gemischten Proben wurde 1 ml Speichel entnommen. Diesem Speichel wurden 3 ml HCl (0,005 N) zugesetzt und über 10 Minuten mit Hilfe eines Magnetrührers (300 rpm) durchmischt. Um das dabei entstandene CO₂ entweichen zu lassen, wurde 10 Minuten gewartet, bevor anschließend der pH-Wert der Lösung mit dem pH-Meter (Mat. 17) gemessen wurde.

3.1.2 Fluoridgehalt des Speichels

Der Fluoridgehalt wurde mit einer ionenselektiven Elektrode, angeschlossen an einen Mikroprozessor (Mat. 18), gemessen. Dazu wurde 1 ml des unstimulierten Speichels mit 3 ml TISAB II (=total ionic strength adjusted buffer, Mat. 22) vermischt, und der F-Gehalt bei einer Rührgeschwindigkeit von 400 rpm in einer thermostatisierten Messzelle bei 25 °C bestimmt.

3.2 Herstellung der Schmelzproben und der Probenhalterung

3.2.1 Probenherstellung

Als Versuchsmaterial wurden operativ entfernte menschliche 3. Molaren verwendet, die zuvor vollkommen impaktiert waren. Sie wurden nach Osteotomie bis zur weiteren Verwendung in gesättigter Thymol-Lösung (Mat. 20) gelagert.

Für alle Schneide- und Schleifvorgänge wurden die Proben mit lichthärtendem Fixationsklebstoff (Mat. 1) auf Plexiglasscheiben (Mat. 2) befestigt.

Mit einem Trenn-Schleifgerät (Mat. 3) wurden die Wurzeln der Zähne abgetrennt und anschließend parallel zur Oberfläche der Glattflächen je vier Schmelzschnitte von ca. 2 mm Dicke präpariert. Danach wurde die gewölbte Oberfläche mit Hilfe eines Schleifgerätes (Mat. 4) mit Sandpapierscheiben der Körnung P800 (Mat. 5) und einem Anpressdruck von 150 g ($=1,5$ N) um 250 μ m reduziert, um eine plane Oberfläche im Bereich des Schmelzes zu erhalten. Die Fläche wurde mit Sandpapier feinerer Körnung bis auf Hochglanz poliert. Verwendet wurde hierzu Sandpapier P1 000 (Mat. 6) für 45 Sekunden und P4 000 (Mat. 7) für 60 Sekunden bei einem Auflagegewicht von 50 g ($=0,5$ N).

Die vier geschliffenen und polierten Schmelzscheiben wurden dann nochmals in koronal-zervikaler Richtung halbiert (Winkelstück mit diamantierter Trennscheibe, Mat. 26).

Bei allen Präparationsschritten wurde auf eine ausreichende Wasserkühlung geachtet.

Somit standen von jedem Zahn acht Schmelzstücke zur Verfügung, die longitudinal auf die Versuchsgruppen verteilt wurden.

Bis zur Verwendung in den Probenträgern wurden die Schmelzstücke in luftdicht schließenden Behältnissen in feuchter Umgebung aufbewahrt.

3.2.2 Probenträger

Für die Anfertigung der Probenträger wurden zunächst – nach Abformung des Ober- und Unterkiefer mit Alginat (Mat. 23) – Modelle aus Superhartgips hergestellt. Die Träger wurden für den Unterkiefer konstruiert, wobei die Proben bukkal auf Höhe der eigenen Zähne getragen werden sollten. Sie bestanden aus gebogenen Drahtklammern (Mat. 24), die approximal zwischen Zahn 4 und 5, sowie zwischen Zahn 6 und 7 in bukkolingualer Richtung hindurchgelegt wurden, einem gebogenen Sublingualbügel (Stärke 1,1 mm, hart) sowie Kunststoffverbindungen zwischen den einzelnen Drahtklammern und dem Sublingualbügel.

Auf jedem Probenträger wurden acht Schmelzstücke verschiedener Zähne befestigt, vier links und vier rechts. Dabei wurden auf jeder Seite jeweils zwei Proben soweit

wie möglich mesial und zwei Proben soweit wie möglich distal fixiert, so dass vier für den Probanden deutlich unterscheidbare Bereiche auf dem Probenträger entstanden (Abb. 1).

An den genannten Stellen wurden auf dem Probenträger Vertiefungen präpariert, in die die Schmelzstücke eingebracht wurden. Zur leichteren Positionierung (und späteren Entfernung) der Proben wurde eine dünne Schicht rosa Plattenwachs in die Vertiefungen eingebracht. Die Schmelzstücke wurden ein wenig in das Wachs hineingedrückt und dann mit einem lichthärtenden Einbettkunststoff (Mat. 1) umgeben und ausgehärtet (Mat. 25). Die Schmelzstücke wurden leicht versenkt montiert, um Einflüsse durch Friktion der Wangenschleimhaut zu minimieren. Zugleich wurde auch die zervikale Hälfte der polierten Schmelzoberfläche mit diesem Kunststoff abgedeckt, um die Versuchsfläche in eine Referenz- und ein Versuchsareal zu teilen.

Nach dem Einsetzen der Proben wurde der gesamte Probenträger zur Desinfektion für 20 Minuten in 80%iges, unvergälltes Ethanol gelegt. Danach wurde der Probenträger mit Wasser abgespült und bis zum Einsatz am Probanden mit einem feuchten Tuch in einem luftdicht schließenden Kunststoffgefäß gelagert, um ein Austrocknen der Proben zu verhindern.

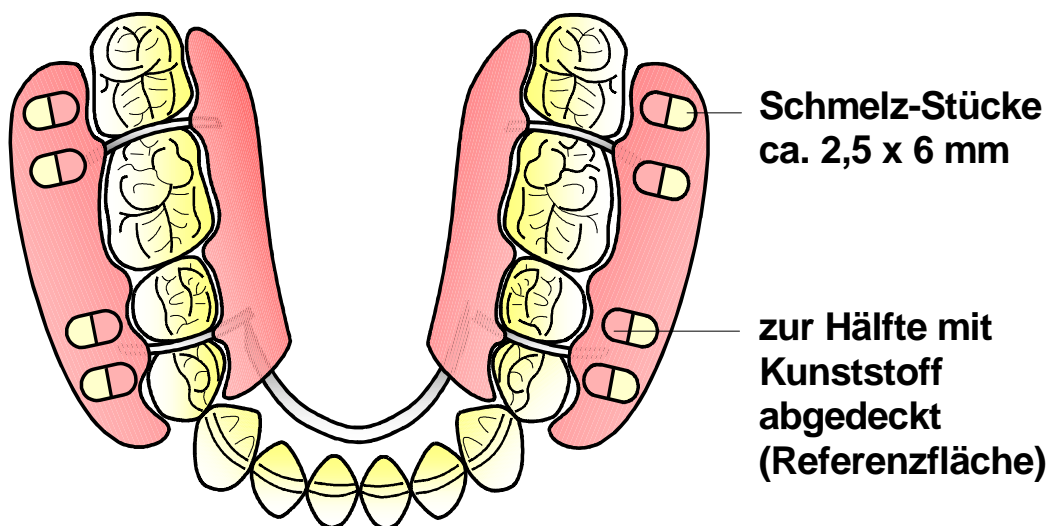


Abb. 1: Probenträger mit montierten Schmelzproben

3.3 Erzeugung der Erosionen

3.3.1 Herstellung der Zitronensäure

Die 0,05 M Zitronensäure wurde aus Citronensäure-Monohydrat, chemische Formel $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ (Mat. 21), und destilliertem Wasser hergestellt. Die molare Masse M des Citronensäure-Monohydrates beträgt 210,14 g/mol, woraus sich zur Herstellung von einem Liter Zitronensäure eine Menge von 10,507 g (gerundet: 10,51 g) Citronensäure-Monohydrat auf einen Liter destilliertes Wasser ergibt. Gewogen wurde mit einer Digitalwaage (Mat. 14) auf zwei Kommastellen genau. Angemischt wurde in einem Erlenmeyerkolben mit einem Liter Fassungsvermögen.

Die Stabilität der Zitronensäure wurde in einem Vorversuch über einen Zeitraum von 14 Tagen (Lagerung bei Raumtemperatur) gemessen. Der pH-Wert von 2,3 blieb konstant. Trotzdem wurde nach jeder Versuchsgruppe (Dauer 5 Tage) die verbliebene Menge an Zitronensäure verworfen und für jeden Probanden neu angesetzt, so dass immer frische Zitronensäure verwendet wurde.

Jeder Proband erhielt zu Beginn einer Versuchswoche einen Liter 0,05 M Zitronensäure. Während der fünf Versuchstage wurden die Probenträger zweimal täglich für 20 Minuten in eine mit ca. 40 ml Zitronensäure (jeweils frisch der Vorratsflasche entnommen) gefüllte Petrischale gelegt – die Proben wurden währenddessen nicht bewegt – und anschließend kurz unter fließendem Wasser abgespült.

3.4 Erzeugung der Bürstabrasion

Verwendet wurden fabrikneue elektrische Zahnbürsten (Mat. 12) mit austauschbaren Bürstköpfen (Mat. 13).

Um vergleichbare Versuchsbedingungen zu erzielen, war es zunächst erforderlich, den Anpressdruck beim Bürsten zu standardisieren. Hierzu wurden die Bürsten mit jeweils zwei Dehnungsmessstreifen (DMS) ausgerüstet (Mat. 19), die es ermöglichen, einen oberen und einen unteren Druckbereich einzustellen und anzuzeigen. Der von den Probanden ausgeübte Anpressdruck sollte sich zwischen dem oberen und unteren Druckbereich bewegen.

3.4.1 Konstruktion des Drucksensors

Die Apparatur bestand aus einer Aluminiumschiene, die die Auslenkung des austauschbaren Bürstkopfes beim Anpressen auf die Schmelzproben bis zum Griffstück der elektrischen Zahnbürste übertrug. Auf der Vorder- und Rückseite der Schiene war jeweils ein DMS festgeklebt. Verbunden mit den DMS war die eigentliche Messschaltung, die aus einer Brückenschaltung, einem Verstärker und zwei Potentiometern sowie daran angeschlossenen Leuchtdioden in zwei Farben bestand. Mit Hilfe der Potentiometer konnte ein oberer und ein unterer Messbereich eingestellt werden.

Zur Veranschaulichung der Funktion der Apparatur – genannt „BrushGuard“ – soll das Blockdiagramm in Abb. 2 dienen. Es werden die wesentlichen Komponenten der Schaltung und deren Verbindungen gezeigt.

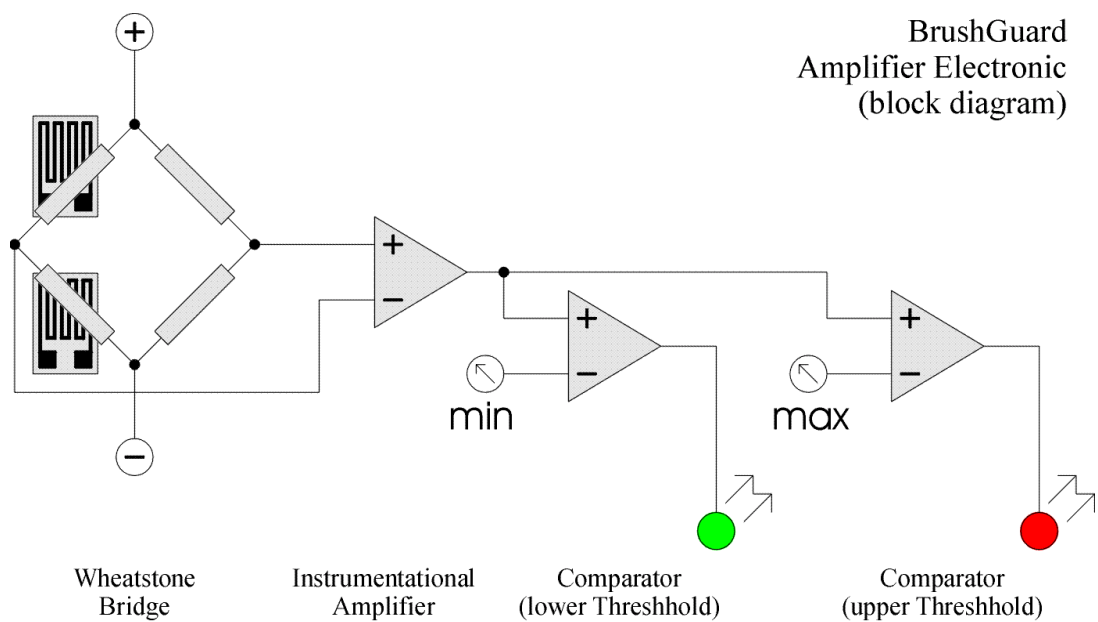


Abb. 2: Blockdiagramm der Messapparatur („BrushGuard“)

Zur Kalibrierung wurden zwei Gewichte (170 g und 240 g) verwendet. Der Abstand von 70 g zwischen den Gewichten war nötig, um das Vibrieren der Bürste zu überdecken. Mit dem kleineren Gewicht wurde der untere Anpressdruck eingestellt, was eine grüne Leuchtdiode zum Ausdruck brachte. Das größere Gewicht diente zur Einstellung einer roten Diode. Kalibriert wurde jeweils zu Beginn eines neuen Versuches. Hier wurde auch immer ein neuer Bürstkopf auf die Zahnbürste gesteckt, was aufgrund herstellungsbedingter Schwankungen in der Dicke des Kopfes jedes Mal eine Kalibrierung notwendig machte.

3.4.2 Versuchsaufbau und Durchführung des Bürstens

Die Probenräger wurden in allen Versuchsgruppen über fünf Tage hinweg 24 Stunden am Tag getragen. Nur während der Zeit des Erodierens sowie zu den Mahlzeiten, vor dem Genuss von säurehaltigen Getränken und zum Putzen der eigenen Zähne wurden sie aus dem Mund genommen und in feuchtem Milieu bei Raumtemperatur

gelagert. Nach dem Essen oder dem Trinken säurehaltiger Nahrungsmittel wurde 15 min gewartet, bevor die Apparatur wieder in den Mund eingesetzt wurde.

Die Probanden wurden instruiert, sich möglichst fluoridarm zu ernähren (d.h. kein schwarzer/grüner Tee, kein fluoridhaltiges Mineralwasser, kein Fisch, kein fluoridiertes Speisesalz).

Nach dem letzten Erodieren wurden die Probenträger noch für mindestens sieben Stunden getragen.

Um Übertragungsfehler zu vermeiden, wurden zwischen den einzelnen Versuchsgruppen Wash-out-Phasen durchgeführt, in denen die Probanden ihre eigenen Zähne ausschließlich mit fluoridfreier Zahnpasta putzten.

Die Putzzeit betrug pro Probenbereich (=zwei Proben) 30 Sekunden, die Gesamtputzzeit also 2 Minuten. Zu Beginn des Putzvorganges wurde alle vier Probenbereiche mit Zahnpasta betupft, so dass diese auf alle Proben gleich lange einwirken konnte.

3.5 Versuchsgruppen

Die Studie wurde im Cross-over-Design geplant. Untersucht wurden folgende zwei Aspekte: Der Effekt von Fluorid und der Einfluss des Putzzeitpunktes auf die Erosions-/Abrasionsprogression einer säurebehandelten Schmelzfläche.

Versuchsgruppe 1: Nur Erosion, keine Abrasion (in-situ-Kontrollgruppe)

Nach dem Erodieren wurde die Versuchsapparatur wieder im Mund getragen; es erfolgte kein Putzen (Positive Kontrollgruppe).

Versuchsgruppe 2: Putzen mit Basispaste unmittelbar vor dem Erodieren

Das Bürsten der Proben mit fluoridfreier Basispaste erfolgte vor dem Erodieren.

Versuchsgruppe 3: Putzen mit Basispaste direkt nach dem Erodieren

Direkt nach dem Erodieren wurden die Proben intraoral mit fluoridfreier Basispaste gebürstet.

Versuchsgruppe 4: Putzen mit Basispaste zwei Stunden nach dem Erodieren

Nach dem Erodieren wurde die Versuchsapparatur noch zwei Stunden intraoral getragen, danach wurden die Proben mit fluoridfreier Basispaste gebürstet.

Versuchsgruppe 5: Putzen mit Fluoridpaste direkt nach dem Erodieren

Hier erfolgte das Bürsten direkt nach der Erosion mit fluoridhaltiger Zahnpasta.

Versuchsgruppe 6: Intensive Fluoridierung nach dem Erodieren

In dieser Gruppe wurde nach dem Erodieren mit fluoridhaltiger Zahnpasta geputzt, am ersten und dritten Tag abends aber statt dessen mit Fluoridgel. Zusätzlich wurde zweimal täglich (vormittags und nachmittags) mit fluoridhaltiger Mundspülung (eine Verschlußkappe=10 ml) gespült.

Versuchsgruppe 7: Erosion, keine Abrasion (in-vitro-Kontrollgruppe)

Nach der Erosion erfolgte die Lagerung der Proben in isotoner Kochsalz-Lösung (Mat. 16) (Negative Kontrollgruppe).

Bei Vorversuchen mit vergleichbarem Versuchsaufbau ermittelten wir auf nicht erodierten Schmelzoberflächen einen Substanzverlust durch Bürsten von $1,4 \pm 0,6 \mu\text{m}$. Da dieser Verlust vernachlässigbar gering ist, führten wir keine Versuchsgruppe „Bürsten ohne Erodieren“ durch.

3.6 Produktbeschreibung der verwendeten Zahnpasten und Mundspüllösung

Es kamen ausschließlich Mittel der Firma Wybert, Lörrach (D), zum Einsatz.

Maßgeblich für die Abrasivität einer Zahnpasta sind der REA- und der RDA-Wert. Beide werden durch Messung der radioaktiven Isotope im entstehenden Putzschaum ermittelt, wobei REA für „radioactive enamel abrasion“ und RDA für „radioactive dentin abrasion“ steht.

- Fluoridhaltige Zahnpasta „Elmex“ mit einem Fluoridgehalt von 0,125 % (Olaflur) (Mat. 28)

Der REA-Wert betrug $4,2 \pm 0,3$, der RDA-Wert betrug 77 ± 2 [Barbakow et al., 1989]. Dieser Wert wurde von der Fa. Wybert (Nachuntersuchung von 1995) bestätigt und war laut telefonischer Rücksprache zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung aufgrund unveränderter Rezeptur gleichgeblieben.

- Basispaste

Paste der gleichen Zusammensetzung wie die Fluoridzahnpaste, jedoch ohne Fluoridzusatz. Somit waren REA- und RDA-Wert dem der Fluoridzahnpaste vergleichbar.

- Fluoridgel „Elmex gelée“ mit einem Fluoridgehalt von 1,25 % (Mat. 29)

In 100 g war neben den Aminfluoriden Olaflur (3,032 g) und Dectaflur (0,287 g) auch Natriumfluorid (2,210 g) enthalten, entsprechend einem Gesamtfluoridgehalt von 1,25 %.

- Fluoridhaltige Mundspüllösung „Meridol“ (Mat. 30) mit einem Fluoridgehalt von 0,22 % (0,16 % Olaflur und 0,06 % Zinnfluorid).

3.7 Zahnpastaverbrauch

Mit Hilfe einer Digitalwaage (Mat. 14) wurde vor der Aushändigung an die Probanden das Gewicht der Zahnpastatuben bestimmt. Am Ende der Versuchswoche wurden die Tuben erneut gewogen und so die pro Putzvorgang benötigte Menge an Zahnpasta ermittelt. Der Verbrauch betrug im Mittel bei

- fluoridfreien Versuchen 0,52 g Basispaste,
- Versuchen mit fluoridhaltiger Zahnpasta 0,42 g,
- Elmex gelée-Gebrauch 0,52 g.

3.8 Studiendesign

Der Versuchsaufbau erfolgte in Form einer Cross-over-Studie (siehe Tabelle 1):

Jeder Proband erhielt eine schriftliche Putzanleitung, in der neben allgemeinen Informationen (siehe Anhang) die praktische Anleitung (siehe Anhang) enthalten war, in welcher Reihenfolge die vier Bereiche des Trägers zu putzen waren.

Damit sollte eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Putzzeitpunktes für jeden einzelnen Probenbereich erreicht werden. Jeweils zwei Proben wurden gleichzeitig gebürstet.

Bei einer absolut gleich häufigen Putzverteilung (jeder Probenbereich wird einmal zuerst geputzt), hätten sich $4 \times 3 \times 2 = 24$ Kombinationsmöglichkeiten ergeben.

Da diese Menge an Kombinationen einerseits nicht auf die zehn Versuchsschritte (fünf Tage à zweimal putzen) verteilbar war (vierzehn Proben wären gar nicht als erstes geputzt worden), und andererseits die Durchführung der Versuchsreihe für die Probanden erschwert hätte, wurden die Probanden zufällig in zwei Gruppen eingeteilt, wobei die eine stets auf der linken Seite zu bürsten begann, die andere auf der rechten Seite des Probenträgers.

Somit wurde eine vergleichbare Beanspruchung aller Probenbereiche erreicht.

Tabelle 1: Schema der Cross-over-Studie

Proband Nr./ Dauer	1 (PK)	2 (DF)	3 (KF)	4 (GF)	5 (US)	6 (HG)
7 Tage	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out
5 Tage	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6
7 Tage	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out
5 Tage	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 1
7 Tage	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out
5 Tage	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 1	Gruppe 2
7 Tage	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out
5 Tage	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
7 Tage	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out
5 Tage	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
7 Tage	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out	wash-out
5 Tage	Gruppe 6	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5

3.9 Quantifizierung der Bürstabrasionen

Nach der Durchführung eines fünftägigen Versuches wurden die Schmelzproben vom Probenträger mit einem Skalpell durch vorsichtiges Unterfahren und Anheben an der Grenze zwischen Träger und aufgetragenen Fixationskleber gelöst. Dann wurden sie ebenso behutsam von eventuell noch anhaftenden Kunststoffteilen befreit und auf Glasobjektträger (Mat. 7) geklebt (Mat. 1). Jeglicher mechanische Kontakt mit der erosiv/abrasiv veränderten Oberfläche wurde dabei vermieden.

Bis zur Erfassung des Oberflächenprofils wurden die Proben in einer Kammer mit 100 % relativer Luftfeuchte gelagert.

Die Untersuchung der Schmelzproben im Grenzbereich von geätzter zu ungeätzter Oberfläche erfolgte nach dem Prinzip der profilometrischen Untersuchung mit dem Perthometer S8P (Mat. 8) und Zubehör (Mat. 9, 10, 11).

Weiter wurde ein Personal Computer mit Intel 386 Prozessor und Betriebssystem Windows für Workgroups Version 3.11 zur computerunterstützten Profilerfassung

mit dem Messprogramm Concept Version 5.2 genutzt. Die Konturauswertung erfolgte dann auf einem PC mit Intel Pentium 100 Prozessor.

3.9.1 Prinzip der Profilometrie

Das Perthometer S8P arbeitet nach dem Tastschnittverfahren. Es erfasst ein Oberflächenprofil mittels des Tasters Perthen FRW 750, wobei eine geradlinige Abtastung der Schmelzoberfläche erfolgt.

Alle Ablenkungen der Tastspitze werden in elektrische Signale umgewandelt und von einem Messverstärker verstärkt. Diese analog erfassten Messsignale werden gleichzeitig von einem Analog/Digital-Wandler in digitale Messsignale übersetzt und dann als direkt ertastetes Profil (sog. D-Profil im Messprogramm Concept) im Profilspeicher des angeschlossenen Computers abgelegt. Von hier aus kann dann die Konturauswertung erfolgen.

Zwecks Abschirmung gegen Erschütterungen aus der Geräteumgebung während des Messvorganges ist das Perthometer S8P auf einem pneumatisch gelagerten Spezialtisch aufgestellt.

3.9.2 Tastbedingungen

Die Einstellung des Vertikalbereichs (VB) dient dazu, bei der Messwertverarbeitung eine hohe Auflösung zu erreichen. Hierfür sollte er zwar möglichst klein gewählt werden, aber dennoch ausreichend groß, um alle Tastwerte zu umfassen. Diese Schwierigkeit lässt sich durch die Einstellung auf Automatik umgehen, wobei man es dem Messgerät überlässt, den jeweils günstigsten Vertikalbereich auszuloten und zu justieren, worauf wir in dieser Untersuchung zurückgriffen.

Die Länge der Taststrecke (L_T) betrug in unserer Auswertung 1,75 mm. Mit dieser Messstrecke erhält man ein ausreichend großes Profil, um bei der Konturauswertung genügend lange Ausgleichsgeraden anbringen zu können.

3.9.3 Auswertbedingungen

Das Profil der Oberfläche setzt sich aus kurz- und langwelligen Anteilen zusammen, wobei die kurzwelligen der sog. Rauigkeit und die langwelligen Anteile der sog. Welligkeit entsprechen. Um die Auswertung zu erleichtern, ist es oft zweckmäßig, durch bestimmte Filtertypen die Profilanteile zu entmischen. Man verwendet hierzu elektronische Filter, welche aus der elektrischen Spannung einzelne Bestandteile, wie z. B. kleine und große Wellenlängen, herausfiltern. Wir setzten bei unserer Untersuchung ein Gaußfilter ein; dieses bezieht jeweils eine Reihe von Profilwerten vor und nach dem zu filternden Profilpunkt ein.

Zwischen Rauigkeit und Welligkeit eines ertasteten Profils kann keine eindeutige Grenze gezogen werden. Deshalb sind für die Filterung unterschiedliche Grenzwellenlängen (λ_C , C=cut off) festgelegt worden. Dabei beschreibt λ_C die (willkürlich) festgelegte Grenze zwischen kürzeren und längeren Wellenlängen; sie lag bei unserer Untersuchung bei 0,25 mm. Als Profiltyp wurde das D-Profil gewählt, welches das direkt ertastete Oberflächenprofil darstellt.

3.9.4 Durchführung der Messungen

Die Objektträger mitsamt den Schmelzproben wurden unter Zuhilfenahme von etwas Knetmasse nacheinander auf dem Messtisch des Perthometers fixiert. Es erfolgte jeweils eine Ausrichtung der Objektträger parallel zur Messtischoberfläche als Bezugsebene des Tastsystems und eine Positionierung der Grenzfläche zwischen erodiertem/abradiertem und intaktem Schmelz der Probe in der Mitte der Abtaststrecke. Die Proben wurden dabei jeweils so eingespannt, dass die Abtastung von zervikal nach okklusal erfolgte.

Vor Beginn des Messvorgangs wurde die jeweilige Probe optisch auf Verunreinigungen der Oberfläche (Staubkörnchen etc.) kontrolliert und gegebenenfalls noch einmal unter fließendem Wasser abgespült und mit Druckluft getrocknet.

Die Größe des Messfeldes wurde auf 1,75x0,4 mm festgelegt, wobei der Taster immer um 100 µm parallel verschoben und insgesamt fünf Spuren abgetastet wurden.

Jede einzelne Spur wurde mit der Konturauswertung des Programms Concept analysiert und das Ergebnis in eine Tabelle übernommen.

Concept stellt den Profilschrieb in voller Länge (1,75 mm) auf dem Bildschirm dar, wobei die Länge auf der Abszisse und der Höhenunterschied auf der Ordinate abgetragen wird. Bewegt man den Mauszeiger auf den Profilschrieb, gibt das Programm ständig die genaue Position an. Somit konnten nun zwei Regressionsgeraden von je 0,5 mm Länge angebracht werden, eine auf der unbehandelten (Referenzfläche) und eine im Bereich der erosiv/abrasiv veränderten Fläche. Danach wurde der mittlere Punkt jeder Geraden markiert. Das Profil wurde nun an der Geraden, die auf dem die Referenzfläche darstellenden Bereich der Kontur lag, ausgerichtet. Dann wurde der Höhenunterschied zwischen den beiden mittleren Punkten gemessen (siehe Abb. 3).

Aus den fünf pro Schmelzprobe gemessenen Profiltiefen wurde dann das arithmetische Mittel gebildet, gerundet auf eine Nachkommastelle.

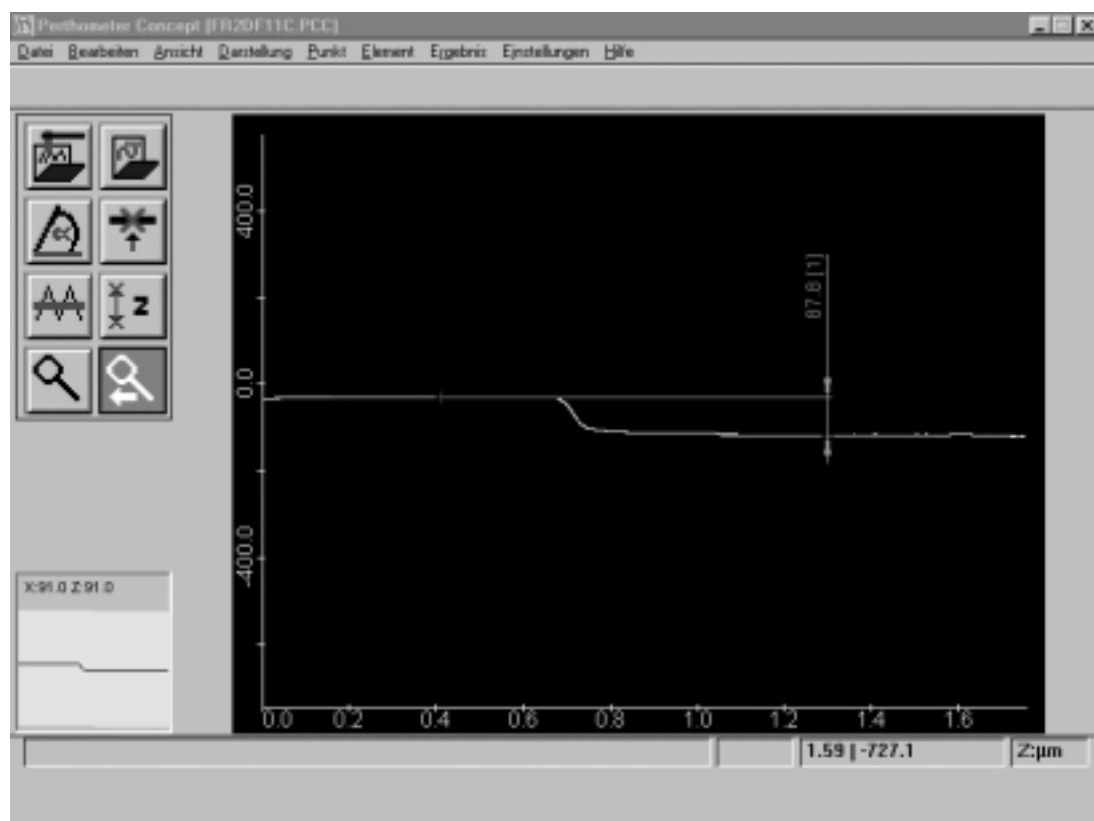


Abb. 3: Bildschirmkopie der Konturauswertung einer Probe mit „Concept“

3.10 Reproduzierbarkeit der Messungen

Zur Messung der Reproduzierbarkeit wurde je eine Schmelzprobe, die ein „leicht“ ablesbares Profil aufzeigte (deutliche Stufenbildung, geringe Wellenbildung im erodierten Anteil des Profils), und eine Probe, die als „schwierig“ auswertbar angesehen wurde (Stufenbildung vorhanden, aber stark welliges Profil im erodiertem Bereich), zehnmal von neuem auf dem Messtisch justiert, profilometrisch vermessen und ausgewertet. Um eine Fläche zu erfassen, wurden immer fünf parallel liegende Spuren (Abstand 0,1 mm) abgetastet.

Ebenso wurden die profilometrisch erfassten Profile einer einzelnen Probe wiederholt neu (zehnmal) in der Kontur ausgewertet, um den individuellen Definitions-, Einstellungs- und Ablesefehler zu ermitteln.

Die Tabellen 2 bis 4 zeigen die Durchschnittswerte für die Reproduzierbarkeit der Messungen.

Tabelle 2: Wiederholte profilometrische Abtastung eines leicht ablesbaren Profils

Substanzverlust (μm)	n	\bar{x}	s	Min	Max
	10	81,02	1,30	79,4	83,0

Tabelle 3: Wiederholte profilometrische Abtastung eines schwierig auswertbaren Profils

Substanzverlust (μm)	n	\bar{x}	s	Min	Max
	10	63,42	4,62	59,2	74,1

Tabelle 4: Wiederholte Auswertung einer einzelnen Probe

Substanzverlust (μm)	n	\bar{x}	s	Min	Max
	10	70,41	0,50	69,8	71,2

3.11 Statistik

Die weitere Auswertung der Daten wurde mit SPSS Version 8.0 für Windows 95 vorgenommen.

Mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest für ungepaarte Stichproben wurde eine Normalverteilung ermittelt. Der Vergleich der einzelnen Gruppen erfolgte mit dem t-Test für gepaarte Stichproben. Das Signifikanzniveau wurde bei allen Berechnungen auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

3.12 Materialien- und Chemikalienliste

- Mat. 1: Fixierungskleber Technovit 7230 VLC, Kulzer, Wehrheim/Ts. (D)
- Mat. 2: Plexiglas-Objektträger der Größe 50x100 mm, Glas Kontor, Gießen (D)
- Mat. 3: Exakt Trennschleifsystem 300 CL mit Trennband 0,2/D64 und Parallelführung 300 CP, Exakt Apparatebau, Norderstedt (D)
- Mat. 4: Exakt Mikroschleifsystem, Exakt Apparatebau, Norderstedt (D)
- Mat. 5: Sandpapierscheiben WS flex 18 B, Körnung P800 und P1 000, Hermes (D)
- Mat. 6: Sandpapierscheiben Silicon Carbide, „C“ weight paper, Körnung P4 000, LECO (USA)
- Mat. 7: Glas-Objektträger 76x26 mm, Menzel-Gläser, Braunschweig (D)
- Mat. 8: Messgerät Mahr Perthometer S8P, Mahr GmbH, Göttingen (D) mit Zubehör (Mat. 9-11)
- Mat. 9: Vorschubgerät PRK, Mahr GmbH, Göttingen (D)
- Mat. 10: Taster Perthen FRW 750, Mahr GmbH, Göttingen (D)
- Mat. 11: Messprogramm Concept Version 5.2, Mahr GmbH, Göttingen (D)
- Mat. 12: Braun Oral-B Plak Control Ultra timer, Braun AG, Frankfurt/Main (D)
- Mat. 13: Braun Oral-B Plak Control EBI 9-2 Ultra, Braun AG, Frankfurt/Main (D)
- Mat. 14: Waage Mettler PJ 3 000, Mettler-Toledo, Gießen (D)
- Mat.15: Messapparatur „BrushGuard“ zur Standardisierung des Anpressdrucks beim Bürsten, Dipl.-Physiker Erik Lins, Linden (D)
- Mat. 16: Kochsalz-Lösung 0,9 % Braun, B. Braun Melsungen AG, Melsungen (D)
- Mat. 17: pH-Meter 761 Calimatic, Knick (D)
- Mat. 18: Microprocessor IONALYZER 901 Modell 96-09 mit Messelektrode BEE-TRODE, Orion Research Inc., Beverly, MA (USA)
- Mat. 19: Dehnungsmessstreifen, BLH, Heilbronn (D)
- Mat. 20: Thymol-Pulver, Fluka Chemie AG, Buchs (CH)
- Mat. 21: Citronensäure-Monohydrat, Art. 242.1 000, Merck, Darmstadt (D)
- Mat. 22: TISAB II, Orion Research Inc., Beverly, MA (USA)
- Mat. 23: Palgat Plus, ESPE Dental-Medizin GmbH & Co. KG, Seefeld (D)
- Mat. 24: Draht Remanium 0,7 mm hart, Dentaureum, Pforzheim (D)

Mat. 25: Optilux 400, Demetron Research Corporation, Danbury, CT (USA)

Mat. 26: Winkelstück Mod. 40. IS, Micro Mega (F)

Mat. 27: Paraffinblöcke, Orion Diagnostika, Espoo (FIN)

Mat. 28: Fluoridhaltige Zahnpasta „Elmex“, Wybert GmbH, Lörrach (D)

Mat. 29: Fluoridgel „Elmex gelée“, Wybert GmbH, Lörrach (D)

Mat. 30: Fluoridhaltige Mundspülung „Meridol“, Wybert GmbH, Lörrach (D)

4 Ergebnisse

4.1 Allgemeines

Schon makroskopisch ließ sich nach Abschluss der Untersuchungen an den jeweiligen Versuchsgruppen eine Veränderung der erodierten/abradierten Schmelzoberfläche im Vergleich zur unbehandelten erkennen:

Die zuvor polierte und hochglänzende Oberfläche erschien kreidig-stumpf und rau. Auch eine Stufenbildung war bei näherer Betrachtung erkennbar, wobei der Grad der Ausprägung, abhängig von der Versuchsgruppe, zwischen einer deutlich sichtbaren Kante und einer hauptsächlich durch den Verlust der hochglanzpolierten Oberfläche erkennbaren Stufe schwankte.

Die Proben des sechsten Probanden (GF) wurde aus den Berechnungen ausgeschlossen, da im Versuchsablauf ein Fehler beim Erodieren gemacht wurde.

Insgesamt konnten vierzehn Proben nicht ausgewertet werden:

- Vier Proben wurden beim Herausnehmen aus dem Probenträger zerstört.
- Zwei Proben lösten sich während der Tragezeit aus der Halterung.
- Bei den übrigen Proben war der abdeckende Kunststoff zu dünn aufgetragen, so dass er durch die mechanische Einwirkung der Bürste entfernt und die gesamte Schmelzfläche geätzt und abradiert wurde.

Pro Versuchsgruppe konnten zwischen 36 und 40 Proben ausgewertet werden.

Eine deskriptive Beschreibung der Datenmenge findet sich in Tabelle 5.

Tabelle 5: Übersicht über den Substanzverlust in den einzelnen Gruppen (n=Anzahl der Proben, \bar{x} =Mittelwert, s=Standardabweichung)

Gruppe	Substanzverlust (μm)				
	\bar{x}	s	Min.	Max.	n
1 In-situ-Kontrolle (Erosion ohne Abrasion)	45,5	13,6	24,9	75,9	39
2 Abrasion vor Erosion (fluoridfrei)	68,1	14,4	34,8	93,7	36
3 Abrasion nach Erosion (fluoridfrei)	79,0	11,5	48,6	100,6	36
4 Abrasion 2 h nach Erosion (fluoridfrei)	81,8	13,2	54,4	121,8	39
5 Abrasion mit Fluorid-Zahnpasta nach Erosion	51,2	13,2	21,0	70,3	39
6 Abrasion mit Intensivfluoridierung nach Erosion	41,1	6,7	29,6	55,6	39
7 In-vitro-Kontrolle (Erosion ohne Abrasion, NaCl)	66,1	7,9	49,8	88,6	40

4.2 Erosiver Substanzverlust unter in-situ- und in-vitro-Bedingungen

Der Vergleich zwischen in-situ- und in-vitro-Kontrollgruppe ließ deutliche Unterschiede in der Höhe des erosiv bedingten Substanzverlustes erkennen, wobei in der in-vitro-Kontrollgruppe etwa 44 % mehr Schmelz verloren ging als in der in-situ-Kontrollgruppe ($p \leq 0,001$).

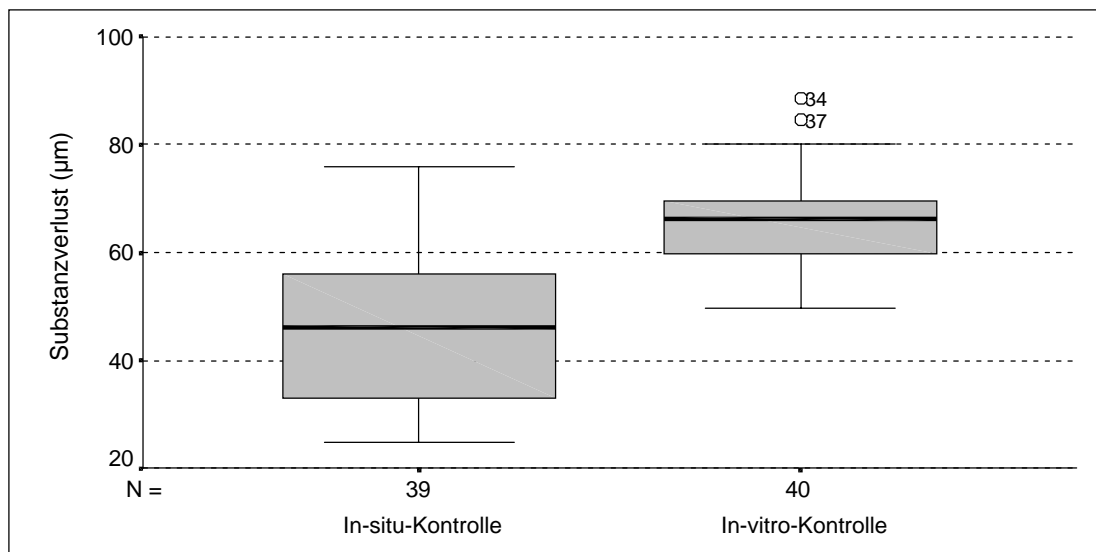


Abb. 4: Substanzverlust nach erosiver Demineralisierung ohne Bürstabrasion nach fünftägiger Tragezeit in-situ bzw. Lagerung in steriler Kochsalzlösung

4.3 Substanzverlust in Abhängigkeit vom Fluorideinsatz

Die Verwendung von fluoridhaltigen Präparaten konnte den Substanzverlust durch Erosion und Abrasion deutlich vermindern (Abb. 5).

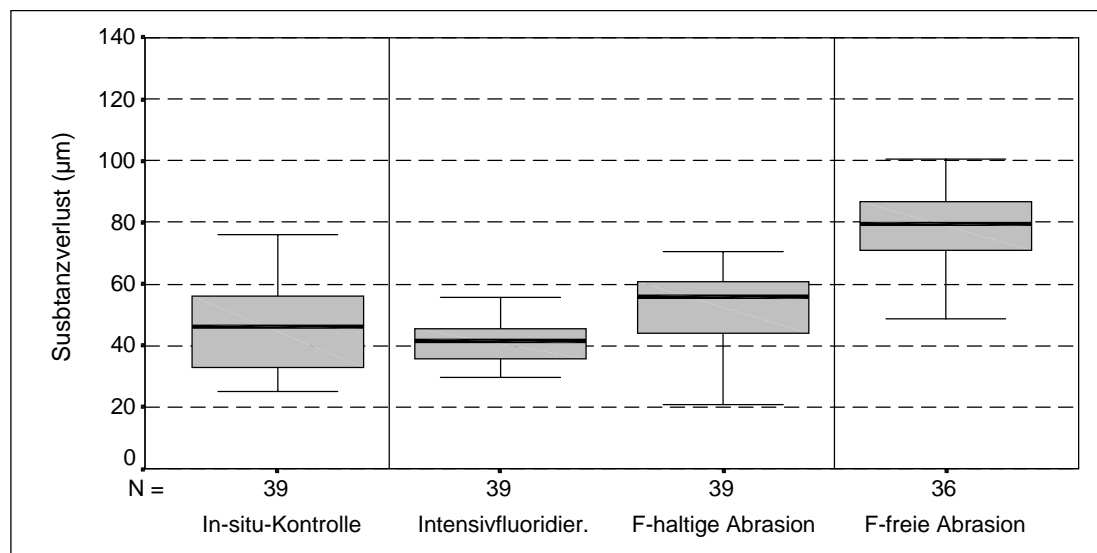


Abb. 5: Substanzverlust nach verschiedenen Fluoridierungsmaßnahmen

Die Kombination aus Erosion und Bürstabrasion mit fluoridfreier Zahnpasta hatte im Vergleich zur alleinigen Erosion einen zusätzlichen Substanzverlust von durchschnittlich 42 % ($31,79 \mu\text{m}$) zur Folge ($p \leq 0,001$).

Dagegen konnte die Anwendung einer fluoridhaltigen im Vergleich zur fluoridfreien Zahnpasta den Substanzverlust um 35 % ($p \leq 0,001$) senken.

Verglichen mit der in-situ-Kontrollgruppe (nur Erosion) lag bei Anwendung von fluoridhaltiger Zahnpasta der Substanzverlust jedoch um $6,6 \pm 2,2 \mu\text{m}$ (12,5 %) höher ($p \leq 0,01$).

Die Intensivfluoridierung bewirkte gegenüber der Bürstabrasion mit fluoridfreier Zahnpasta eine Reduktion des Substanzverlustes um 48 % ($p \leq 0,001$).

Im Vergleich mit der in-situ-Kontrollgruppe konnte durch die Intensivfluoridierung der Substanzverlust sogar nahezu verhindert werden. Es konnte kein signifikanter Unterschied gefunden werden, und der Substanzverlust war sogar um $3,8 \pm 2,2 \mu\text{m}$ geringer als in der in-situ-Kontrollgruppe.

4.4 Substanzverlust in Abhängigkeit vom Putzzeitpunkt (fluoridfrei)

Im Vergleich mit der in-situ-Kontrollgruppe zeigte sich, dass unabhängig vom Putzzeitpunkt durch das Zähneputzen mit fluoridfreier Zahnpasta mehr Substanz verloren ging als wenn nur erodiert wurde ($p \leq 0,001$), siehe Abb. 6.

Abrasion nach dem Erodieren bewirkte einen 16 % höheren Substanzverlust als Bürsten vor dem Erodieren ($p \leq 0,001$), auch eine Remineralisationszeit von zwei Stunden nach der Erosion bewirkte keinen geringeren Substanzabtrag. Es wurde ein um 20 % höherer Substanzverlust als beim Bürsten vor der Erosion gemessen ($p \leq 0,001$). In den Versuchsgruppen Bürsten direkt nach der Erosion und Bürsten zwei Stunden nach der Erosion wurden mit $79,0 \pm 11,5 \mu\text{m}$ bzw. $81,8 \pm 13,2 \mu\text{m}$ die höchsten Verluste aller Versuchsgruppen registriert, wobei zwischen dem Putzen nach dem Erodieren und dem Putzen nach zwei Stunden kein signifikanter Unterschied bestand.

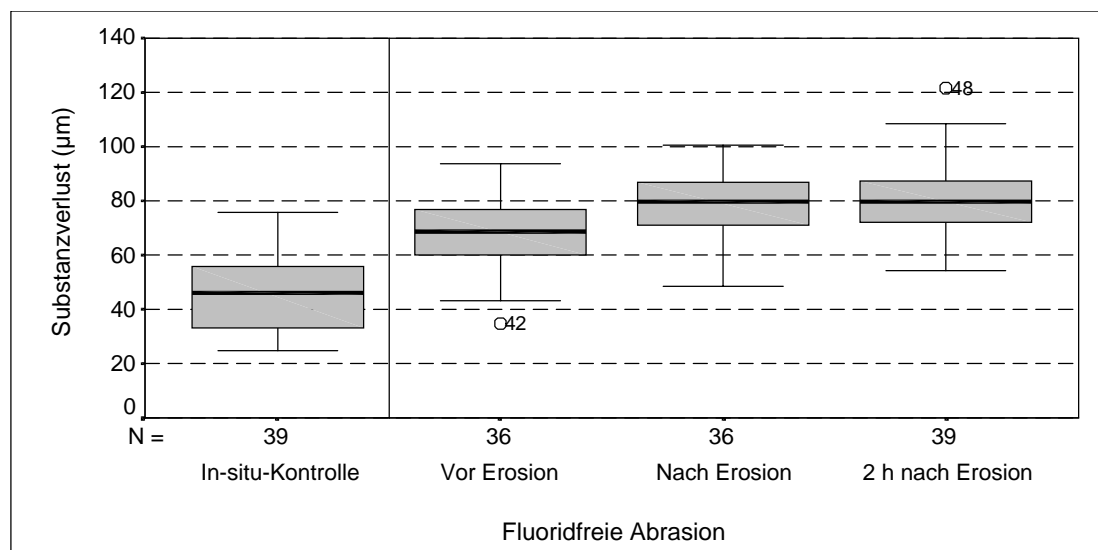


Abb. 6: Substanzverlust durch Erosion und fluoridfreie Abrasion in Abhängigkeit vom Putzzeitpunkt

4.5 Betrachtung der Ergebnisse bei den einzelnen Probanden

Die Betrachtung der einzelnen Probanden ergab ein durchaus inhomogenes Bild. Bereits der Mittelwert des durch Erosion ohne Bürstabrasion hervorgerufenen Substanzverlustes schwankte zwischen 32 und 59 μm (Proband US bzw. KF) bei Signifikanzniveau ($p \leq 0,001$).

Grundsätzlich zeigte sich jedoch bei allen Probanden ein deutlich geringerer Substanzverlust bei Verwendung von fluoridhaltigen Präparaten im Vergleich zu fluoridfreier Zahnpasta.

Besonders die Intensivfluoridierung zeigte einen deutlichen Effekt, denn bei drei von fünf Probanden wiesen die intensiv fluoridierten und abradierten Proben sogar einen geringeren Substanzverlust auf als die Proben, die keiner Bürstabrasion ausgesetzt waren. Auch konnten in der Versuchsgruppe Intensivfluoridierung keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden ermittelt werden.

Die Ergebnisse der einzelnen Probanden sind in Abb. 7 bis Abb. 11 dargestellt.

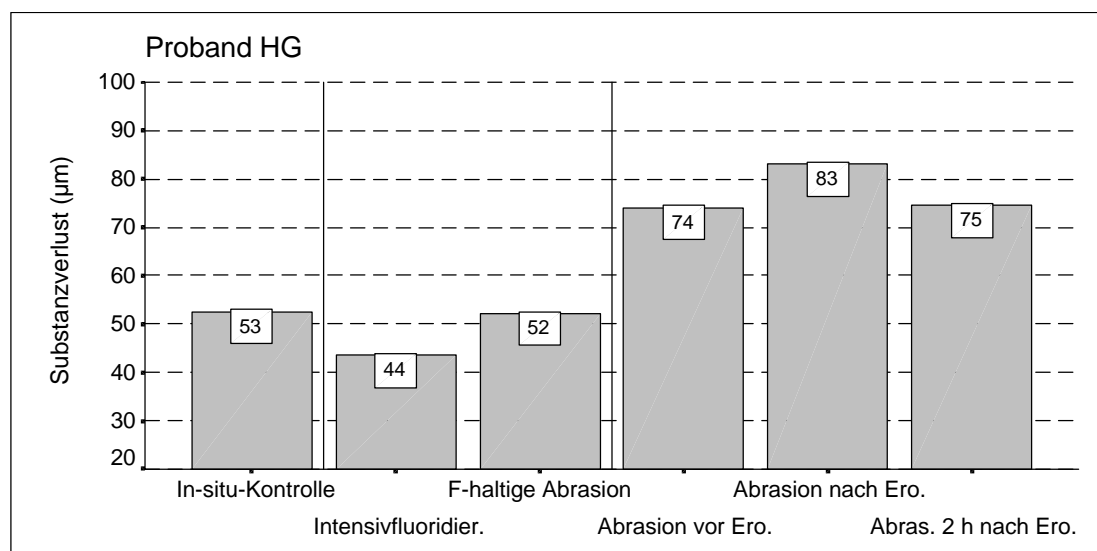


Abb. 7: Mittelwerte der Substanzverluste (Proband HG) für alle Versuchsgruppen (n=8 Schmelzproben)

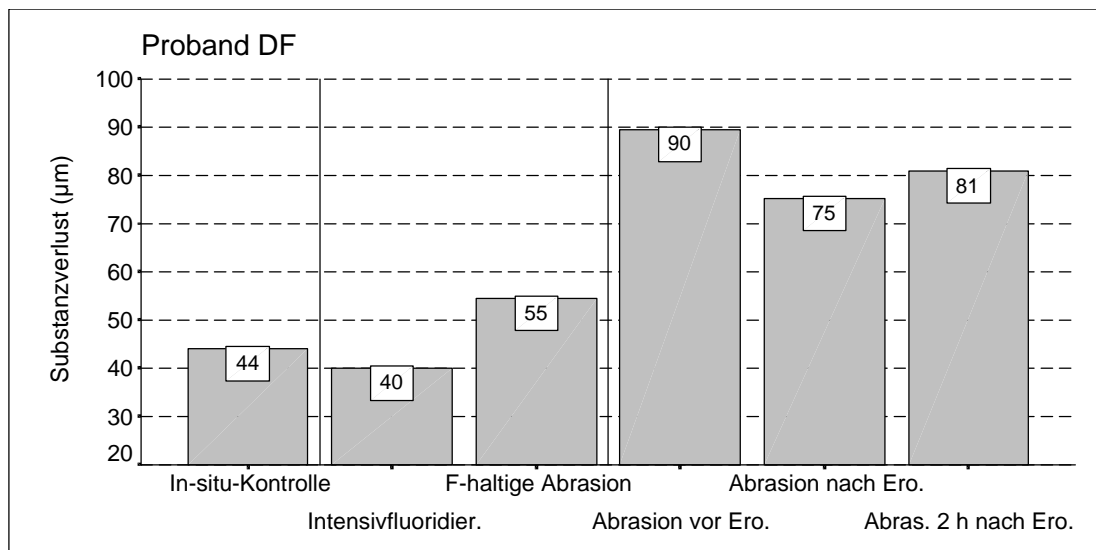


Abb. 8: Mittelwerte der Substanzverluste (Probant DF) für alle Versuchsgruppen (n=8 Schmelzproben)

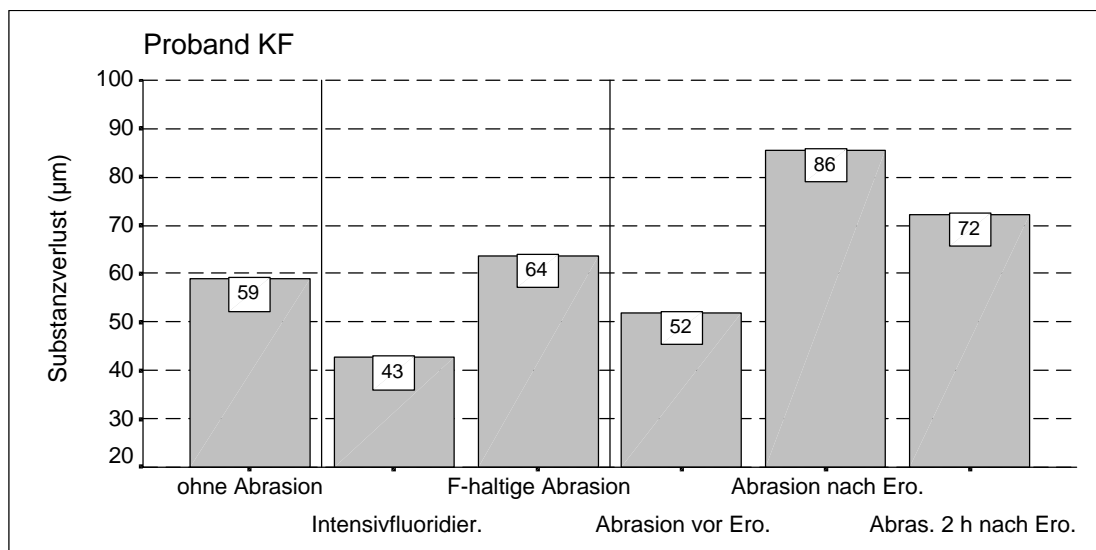


Abb. 9: Mittelwerte der Substanzverluste (Probant KF) für alle Versuchsgruppen (n=8 Schmelzproben)

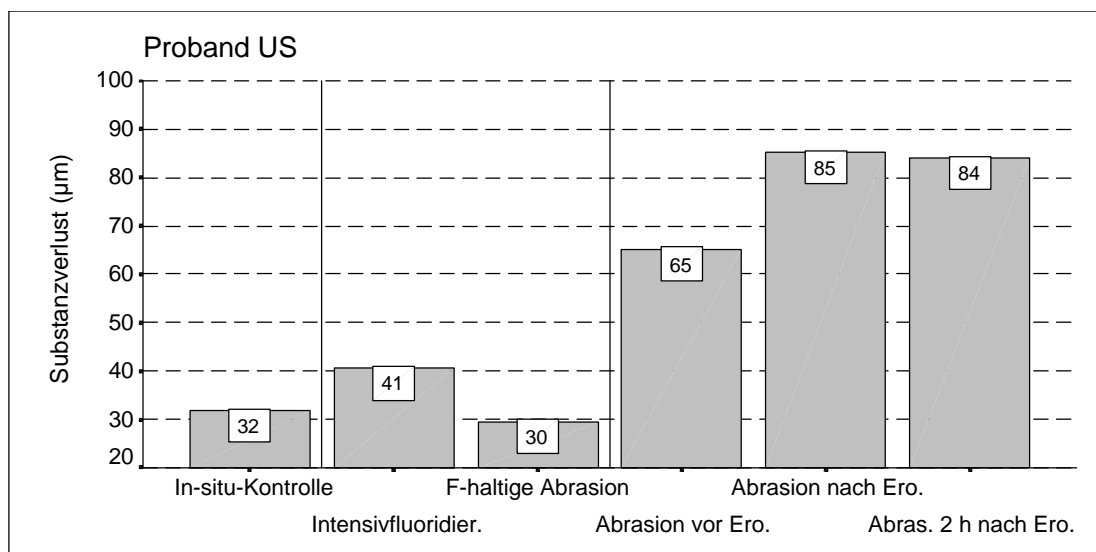


Abb. 10: Mittelwerte der Substanzverluste (Proband US) für alle Versuchsgruppen (n=8 Schmelzproben)

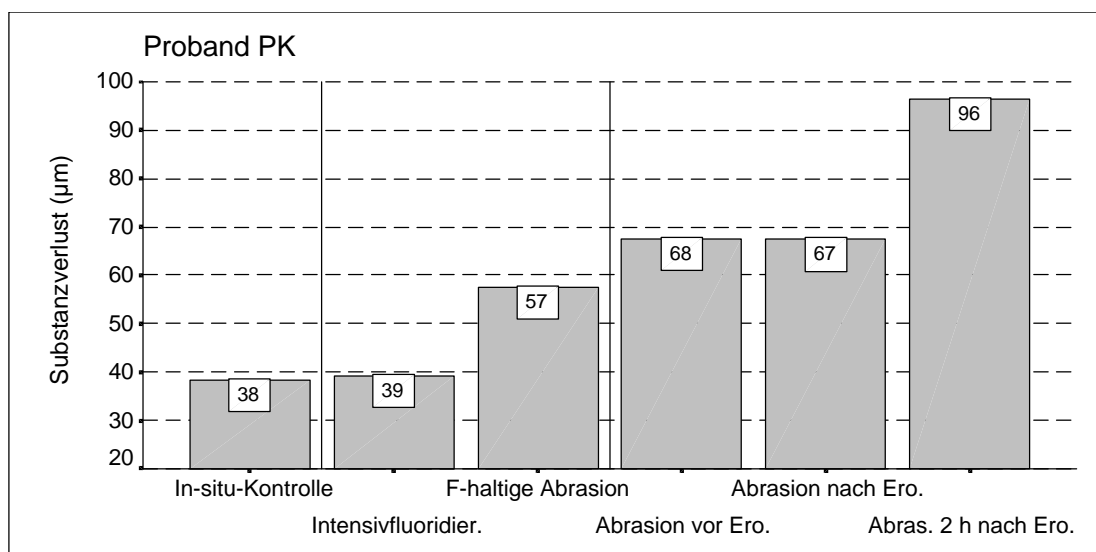


Abb. 11: Mittelwerte der Substanzverluste (Proband PK) für alle Versuchsgruppen (n=8 Schmelzproben)

4.6 Speichelparameter

Die Fließraten für stimulierten Speichel lagen bei allen Probanden in dem in der Literatur angegebenen physiologischen Bereich von 1-3 ml/min [Tenovuo, 1989; Thylstrup und Fejerskov, 1994]. Auch für unstimulierten Speichel wurde der als normal bezeichnete Bereich von 0,25-0,35 ml/min nicht unterschritten (siehe Tabelle 6).

Der pH-Wert des Ruhespeichels liegt im Bereich von 6,5-6,9, der des stimulierten Speichels im Bereich von 7,0-7,5. Als sehr niedrig werden Werte unter 6,3 bzw. 6,8 bezeichnet [Nikiforuk, 1985; Tenovuo, 1989]. Die Bestimmung des Speichel-pH-Wertes ergab für alle Probanden physiologische Werte.

Die Pufferkapazität des Ruhespeichels wird bei Werten unter 3,5 als „sehr niedrig“ eingestuft. Der normale Bereich liegt zwischen pH 4,25 und 4,75 [Nikiforuk, 1985]. Beim stimulierten Speichel sind die pH-Werte der Pufferkapazität von 5,75 bis mehr als 7,0 als „normal/hoch“ angegeben, Werte unter 5,0 werden als „niedrig“ beschrieben [Tenovuo, 1989]. Die End-pH-Werte der Pufferkapazität für Ruhe- und stimulierten Speichel lagen bei den meisten Probanden im physiologischen Bereich. Lediglich ein Proband (DF) wies beim Test der Pufferkapazität des Ruhespeichels einen Wert (4,00) am unteren Rand des physiologischen Standardbereichs auf.

Die im Ruhespeichel der Probanden enthaltene Fluoridmenge bewegte sich im physiologischen Bereich von 0,01-0,05 ppm [Thylstrup und Fejerskov, 1994].

Tabelle 6: Fließraten, pH-Werte, Pufferkapazität und Fluoridgehalt von stimuliertem und unstimuliertem Speichel für alle Probanden

Proband	Speichelfließrate (ml/min)		pH-Werte		Pufferkapazität (End-pH-Werte)		F ⁻ -Gehalt (ppm)
	Ruhe	Stimuliert	Ruhe	Stimuliert	Ruhe	Stimuliert	Ruhe
PK	0,42	3,00	7,48	8,35	5,15	7,50	0,012
DF	0,46	4,00	7,76	9,16	4,00	6,20	0,001
KF	0,40	1,67	8,10	8,44	5,55	7,17	0,034
HG	0,45	2,40	7,66	7,87	5,78	6,08	0,005
US	0,50	4,00	7,65	7,57	4,90	7,22	0,005
Physiolog. Bereich	0,25-0,35	1,00-3,00	6,50-6,90	7,00-7,50	4,25-4,75	5,75->7,00	0,010-0,050

4.7 Zahnpastaverbrauch

Die pro Putzvorgang benötigte Menge an Zahnpasta betrug im Mittel

- 0,52 g (zwischen 0,34 und 0,75 g) bei Versuchen mit fluoridfreier Zahnpasta
- 0,42 g (zwischen 0,31 und 0,47 g) bei Versuchen mit fluoridhaltiger Zahnpasta
- 0,52 g (zwischen 0,3 und 0,8 g) bei Gebrauch von Fluoridgel.

In Tabelle 7 ist der Gesamtverbrauch an Zahnpasta pro Proband und Versuchsgruppe dargestellt.

Tabelle 7: Verbrauch an Zahnpasta pro Versuchsgruppe für die einzelnen Probanden

Proband/Versuchsgruppe [Menge (g)]	PK	DF	KF	US	HG
Abrasion (F ⁻ -frei) vor Erosion	3,91	3,56	9,01	9,46	4,32
Abrasion (F ⁻ -frei) nach Erosion	3,59	3,30	5,27	7,62	4,19
Abrasion (F ⁻ -frei) 2 h nach Erosion	3,65	3,43	7,53	5,28	4,15
Abrasion mit F ⁻ -Zahnpasta	3,47	3,32	5,99	3,21	3,57
F ⁻ -Zahnpasta bei Intensivfluoridierung	3,28	2,93	3,33	5,75	3,06
Fluoridgel bei Intensivfluoridierung	0,93	0,73	0,60	1,59	1,36

5 Diskussion

5.1 Methode

Mit dem verwendeten Versuchsmodell konnte sowohl die Erosion als einzelne Variable (Kontrollgruppen) als auch eine Kombination aus mehreren Variablen, Erosion und Abrasion (Bürstabrasion vor Erosion, nach Erosion, zwei Stunden nach Erosion, mit Fluorid-Zahnpasta, mit Intensivfluoridierung), die Wirkung von Fluorid in unterschiedlichen Dosierungen (Bürstabrasion mit Fluorid-Zahnpasta und Intensivfluoridierung) sowie die Auswirkung des Putzzeitpunktes (Bürstabrasion vor, nach und zwei Stunden nach Erosion) bestimmt werden.

Das verwendete Modell stellte dabei den „worst case“ für Erosionen dar, weil

1. aufgrund des Abschleifens und Polierens der oberflächliche Schmelz fehlte, was sicherlich zu einem größeren Substanzverlust führte,
2. impaktierte und somit relativ unreife und fluoridarme Zähne verwendet wurden,
3. eine lange Erosionsdauer gewählt wurde,
4. die Erosion außerhalb des Mundes durchgeführt wurde und damit keine Pufferwirkung des Speichels zustande kam,
5. eine relativ lange Bürstzeit gewählt wurde.

Das Schleifen und Polieren wurde durchgeführt, um eine glatte Oberfläche zu erhalten. Die Messbarkeit einer glatten Oberfläche ist wesentlich einfacher als die einer ungleichmäßig gekrümmten, was die Auswertungsgenauigkeit erhöht. Zwar wurde in der vorliegenden Untersuchung das Abschleifen und Polieren auf ein Minimum begrenzt, dennoch wurde dadurch die oberste Schmelzschicht entfernt und der darunter liegende Schmelz freigelegt. Es wurde in vorhergegangenen Studien belegt, dass dieser deutlich homogener als unbehandelter oberflächlicher Schmelz ist [Sorvari et al., 1994], was die Variation des Versuchsmodells reduziert und damit umgekehrt die Sensitivität erhöht [Lussi et al., 1997]. Bearbeitete Oberflächen können jedoch in deutlich stärkerem Maße demineralisieren als natürliche [Ganss et al., 2000].

Strukturell zeigt sich bei bearbeiteten Schmelzoberflächen nach Säureeinwirkung zunächst eine ausgeprägte charakteristische Demineralisation der Prismenperipherie und schließlich auch der Prismenzentren, während an unbearbeiteten Schmelzoberflächen bei gleicher Applikationsdauer ein irreguläres Demineralisationsmuster neben unveränderten Arealen zu beobachten ist [Meurman und Frank, 1991b]. Offenbar sind Regionen aprismatischen Schmelzes mit unregelmäßig strukturiertem Apatit weniger säurelöslich als Apatit, der in prismatischer Struktur vorliegt.

Auch in-situ kann, besonders bei Patienten mit Erosionen, die aprismatische oberflächliche Schmelzschicht durch chemisch/physikalische Einwirkungen abgetragen werden, so dass eine zunehmende Anfälligkeit für einen säurebedingten Substanzverlust angenommen werden könnte. Da exponierte Zahnoberflächen jedoch ständig intensiven Remineralisationsprozessen unterliegen, dürfte diese Annahme eher spekulativ sein. Auch wenn in-situ ein oberflächlicher Substanzabtrag in der Größenordnung des in unserem Versuch gewähltten vorkommen kann, dürfte der erosive Mineralverlust der verwendeten Proben deshalb dennoch deutlich höher liegen als in der in-situ-Situation.

Die Säurelöslichkeit des Schmelzes kann von seinem Mineralgehalt abhängen. Obwohl es keine systematischen Studien zu dieser Frage gibt, lassen sich bei Erosionsversuchen deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Zähnen beobachten [Ganss et al., 2000]. Der Mineralgehalt unterliegt einer großen biologischen Variation. So nimmt etwa die Schmelzdichte von der Oberfläche her nach innen hin ab, wie auch die Kalziumkonzentration von koronal zur Schmelz-Dentin-Grenze hin abfällt. Innerhalb des Gewebes treten dabei Variationen von 30-40 % auf [Weatherell und Robinson, 1973]. Grundsätzlich variiert der Mineralgehalt zwischen 77-90 Vol.%, wobei die geringste Mineralisation in der Zervikalregion auftritt [Theuns et al., 1983]. Daher kann der Mineralgehalt eines in der Studie verwendeten Schmelzstückes – abhängig von der zervikal/koronalen Position und der Präparationstiefe – mehr oder weniger stark vom durchschnittlichen Wert abweichen.

Darüber hinaus kann bei impaktierten Zähnen grundsätzlich von einem geringeren Mineralgehalt ausgegangen werden als bei durchgebrochenen Zähnen, die bereits eine posteruptive Schmelzreifung erfahren haben. Wenn auch bei der Verwendung

impakterter Zähne mit einer hohen Säurelöslichkeit gerechnet werden muss, so können dafür Unterschiede aufgrund von Einflüssen des Mundmilieus minimiert werden. Um des Weiteren möglichst einheitliche Versuchsbedingungen zu schaffen, wurden die Proben longitudinal auf die Versuchsgruppen verteilt, da der Substanzverlust von Proben derselben Zähne recht gut korreliert [Ganss et al., 2000]. Zur Minimierung der Unterschiede in der Schmelzzusammensetzung und –härte wurde dieses Vorgehen bereits von anderen Autoren vorgeschlagen [Ganss et al., 1998a; Attin et al., 1997b].

Zusätzlich wurde schon beim Einsetzen der Proben in die Probenträger darauf geachtet, dass immer die zervikale Hälfte der Proben von Kunststoff bedeckt war. Damit sollte ein zu großer Unterschied zwischen den einzelnen Ergebnissen, bewirkt durch den unterschiedlichen Anschnitt der Schmelzoberfläche, vermieden werden.

Die Verweildauer der Schmelzproben im erosiven Medium betrug zweimal täglich 20 Minuten. Wir wählten diese Zeitspanne aufgrund der Erkenntnis von Stösser und Nekrashevych (1998), dass nach 20 Minuten im erosiven Medium die maximale Schmelzerweichung vorliegt. Danach findet keine weitere Abnahme der Mikrohärtigkeit statt, sondern nur noch weitere Lösung von Mineralien. Die Zeitspanne mag in Bezug auf die Gegebenheiten der Mundhöhle und die „normale“ Aufnahmefrequenz und -geschwindigkeit von Speisen und Getränken realitätsfern erscheinen. In den Risikogruppen ergeben sich jedoch durch häufigen und/oder lang andauernden Kontakt mit erosiv wirkenden Lebensmitteln extreme klinische Bedingungen, die durch präventive Maßnahmen auch abgedeckt sein müssen. So gaben Ganss et al. (1999a) für Rohkostler bezüglich säurehaltiger Speisen einen Medianwert für die Aufnahmehäufigkeit von 4,8 (max. 16,1) pro Tag sowie einen Medianwert für die täglich verzehrte Obstmenge von 1,7 (max. 3,4) kg an. Zwar ist der neutrale pH-Wert der Mundhöhle normalerweise schon innerhalb von 1-3 Minuten wieder erreicht [Imfeld, 1983; Meurman et al., 1987], in einigen Fällen wurden jedoch bereits nach einem Schluck eines säurehaltigen Getränkes niedrige pH-Werte (um 4) über einen Zeitraum von bis zu 10 Minuten beobachtet [Imfeld, 1983]. Infolgedessen erscheint die in der vorliegenden Studie gewählte Erosionszeit, bezogen auf die Aufnahme einer vollständigen säurehaltigen Mahlzeit, nicht allzu fern von extremen klinischen Situationen zu sein.

Da die Zeitspanne zur Erzeugung der Erosionen relativ lang gewählt wurde, war es angesichts des Risikos für den Substanzverlust der eigenen Dentition nicht vertretbar, Erosionen in der vorliegenden Größenordnung im Mund eines Probanden zu erzeugen. Leider ließ sich daher nicht die Pufferwirkung des menschlichen Speichels im Moment der Erosionsentstehung beurteilen. Um jedoch den remineralisierenden Effekt des Speichels auf den erodierten Schmelz beurteilen zu können, wurden die Proben zwischen den Erosionsphasen durchgängig im intraoralen Milieu getragen.

In einem Vorversuch hatten wir festgestellt, dass profilometrisch erst bei einer Putzdauer von 30 Sekunden aussagekräftige Ergebnisse gemessen werden konnten. Diese Putzdauer der Proben (30 s/Par, Gesamtputzdauer etwa 2 min) wurde von den Probanden nicht als übermäßig zeitaufwendig empfunden.

Die Putzdauer der eigenen Zähne sollte ungefähr 2-3 Minuten betragen, was etwa 10-20 Sekunden pro Sextant [Attin et al., 1998 und 2000] entspricht. In unserer Studie betrug die Bürstzeit 30 Sekunden pro Probenpaar, was in der Realität bei einem voll-bezahnten Patienten einer Putzzeit von 14 Minuten (für die vestibulären und oralen Flächen) entspräche. Ein Fallbericht lässt dies jedoch in einem anderen Licht erscheinen: Von einer kieferorthopädischen Praxis wurde ein 18jähriger Patient überwiesen, der massive Zahnhartsubstanzverluste, z. T. bis über die Hälfte der Kronenhälse, und ausgedehnte Glattflächendefekte aufwies. Als Grundursachen wurde ausgiebiger Cola-Genuß (mind. 1 l/Tag) sowie, durch die Kieferorthopädie motiviert, mehrmals täglich 20minütiges Zähneputzen festgestellt. Auch Attin (1997b) stellte fest, dass die von Erosionen betroffenen Patienten häufig besonders motiviert sind und zum Teil eine übermäßige Mundhygiene betreiben.

Im in-situ-Versuch hielten Jaeggi und Lussi (1999a) für die Bukkalflächen der Zähne eine Bürstzeit von 30 Sekunden pro Quadrant zur Simulation einer guten Mundhygiene für adäquat. Sie äußerten in diesem Zusammenhang, dass Menschen mit guter Mundhygiene üblicherweise auch ein besonderes Interesse an gesundheitlichen Aspekten zeigten und sich daher auch häufig „gesund“ – und damit eher erosionsgefährdet – ernährten.

Zu allen genannten Punkten gilt, dass im Modellversuch auch Extremgruppen (z. B. Patienten mit Essstörungen) berücksichtigt werden müssen. Wenn Therapieansätze im „worst case“-Modell Wirkung zeigen, so kann man dies auch für die sich häufig günstiger darstellende klinische Situation annehmen. Zur weiteren Klärung sollten indessen noch klinisch-experimentelle Modelle dienen.

5.1.1 Erzeugung der Erosionen

In der Literatur wurden zumeist Früchte oder deren Säfte oder Erfrischungsgetränke zur Erzeugung von Erosionen verwendet. Die Beurteilung des erosiven Potentials der genannten diätetischen Produkte gestaltet sich jedoch schwierig, da neben den jeweiligen Säuren noch andere Substanzen Bestandteile der Flüssigkeiten sind. So finden sich z. B. in Fruchtsäften [Grenby, 1990] u. a. Kalzium, Phosphor und Proteine, welche das erosive Potential verändern können [Lussi et al., 1993]. Daneben wurden andere Säuren, wie die aus der Adhäsivtechnik (Schmelz-Ätz-Technik) bekannte 37%ige Orthophosphorsäure benutzt, die jedoch nur in wenigen Getränken (z. B. Cola) enthalten ist.

Wir verwendeten Zitronensäure als erosives Medium mit dem Hintergrund, dass sie als reine diätetische Säure in vielen Lebensmitteln enthalten ist. Als Säuerungsmittel ist sie Bestandteil vieler Getränke, wie z. B. Frucht- und Gemüsesäfte, Sportlergetränke, kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke und Apfelessig-Getränke, aber auch Buttermilch. Zitronensäure hat gegenüber der Verwendung von kommerziellen Produkten mit erosivem Potential den Vorteil, dass keine anderen Zusatzstoffe enthalten sind, die unkontrollierbare Effekte haben könnten [Jaeggi und Lussi, 1999a]. Die von uns verwendete 0,05 M Zitronensäure entspricht im übrigen aber der Konzentration einer ungefähr 1%igen Lösung, was wiederum der Konzentration z. B. in Sprite light entspricht [Attin et al., 1997b, 1999 und 2000].

5.1.2 Erzeugung der Abrasion

Der Anpressdruck beim Bürsten variiert interindividuell beträchtlich. Fraleigh et al. (1967) fanden bei einer Untersuchung von 208 Probanden heraus, dass der höchste Putzdruck bei elektrischen Zahnbürsten 260 g und bei Handzahnbürsten 1 280 g betrug, womit eindeutig belegt wurde, dass mit einer elektrischen Zahnbürste ein geringerer Putzdruck ausgeübt wurde. Allerdings wurde angemerkt, dass die manuellen Bürsten im Test ein größeres Borstenfeld als die elektrischen aufwiesen, womit letztlich der auf die Zahnschmelz ausgeübte Druck geringer gewesen sein könnte. Weiter wurde festgestellt, dass der auf den Zahn ausgeübte Druck auch von der Länge, Dicke und Anordnung der Borsten abhängig war, weshalb wir in unserer Untersuchung für alle Probanden die gleiche Bürste verwendeten. Dagegen ergab eine andere Studie [de Trey, 1983], dass eine unterschiedliche Borstenlänge – 10 und 12 mm, entsprechend „hart“ und „weich“ nach Riethe (1974) – keine Auswirkung auf die Andruckkraft hatte. Die von den Probanden während des Putzens mit Handzahnbürsten aufgewendete Kraft bewegte sich zwischen 72,8 und 522,7 g.

Diese großen Spannen in der Höhe des individuellen Putzdruckes ließen eine Standardisierung des Anpressdruckes notwendig erscheinen. Die oben genannten Untersuchungen wurden zudem an nicht-erodierten Zähnen durchgeführt. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass erodierter Schmelz gegenüber einem hohen Putzdruck empfindlicher reagiert. In einer in-vitro-Studie wurde hingegen nachgewiesen, dass der mit einer elektrischen Zahnbürste auf erodiertem Schmelz hervorgerufene Substanzabtrag bei einem Anpressgewicht von 100-400 g (Erhöhung um jeweils 100 g) nahezu gleich blieb; es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ($p < 0,001$). Offenbar wurde bereits mit dem geringsten Putzdruck (100 g) die stark erweichte oberflächliche Schmelzschicht weggeputzt; die darunter liegende Schicht mit ursprünglicher Härte wurde dann nicht weiter abgetragen [Ganss et al., 1999b]. Wenn auch aufgrund dieser in-vitro-Ergebnisse kein signifikanter Effekt von unterschiedlichen durchschnittlichen Putzdrücken zu erwarten war, erschien es doch notwendig, den Druckbereich zu limitieren, um extreme Druckspitzen zu vermeiden. „BrushGuard“ diente dabei als optisches Instrument des Anpressdruckes.

Mierau et al. (1989) erkannten in einer Studie zum Gewohnheitsmuster beim Zähneputzen, dass die Variablen Kraft, Dauer, Technik sowie die Abfolge der Lokalisationen und die Zahl der Ortswechsel beim Bürsten sehr stark der „Macht der Gewohnheit“ unterliegen. Bei 85 % der untersuchten Probanden zeigte sich ein sehr hohes Gewohnheitsmaß. Die Autoren beschrieben dies – in Analogie zu Pawlows klassischer Konditionierung – als eine Art „Bewegungsautomatisation“. Um im vorliegenden Versuch bei allen Probanden eine vergleichbare Putztechnik zu gewährleisten, wurde ein standardisiertes Putzschema vorgegeben, nach einem speziellen Protokoll geputzt (siehe Anhang) und praktische Übungen durchgeführt.

5.1.3 Meßmethode

Aus den zahlreichen zur Quantifizierung des Substanzverlustes nach Bürstabrasion entwickelten Untersuchungsmethoden haben sich inzwischen besonders zwei bewährt:

Mittels der Messung der radioaktiven Dentinabrasion (RDA) bzw. Schmelzabrasion (REA) kann der Verlust von Substanz unabhängig von deren Gewicht, das ja abhängig von der Feuchtigkeit des Zahns ist, bestimmt werden. Der sog. Radiotracer-Test geht auf Grabenstetter et al. (1958) zurück. Er beruht auf einer radioaktiven Bestrahlung von Dentinstücken. Im darauffolgenden Putzzyklus mit einem Bürstmedium fängt man die Aufschlämmungen (Slurry) der Zahnpasten auf und kann dann über die Messung der Radioaktivität der Slurries den Dentinverlust errechnen. Hierzu wurde von Hefferren (1976) eine Methode zur Bestimmung der Abrasivität von Zahnpasten vorgestellt, die bis heute die Grundlage bei Tests dieser Art darstellt. Durch die Besonderheiten (Radioaktivität) und Umstände (Auffangen des Slurries) der Untersuchungsmethode eignet sie sich jedoch nur für in-vitro-Studien.

Ashmore (1966) setzte, zwecks genauerer Untersuchung der Kontur der abradierten Oberfläche, die Profilometrie zur Bestimmung des Substanzverlustes ein. Seit die Methode in einer größeren Untersuchung verwendet wurde [Ashmore et al., 1972], ist sie mittlerweile standardisiert und weit verbreitet. Die profilometrische Analyse stellt eine geeignete, verlässliche und reproduzierbare Methode zur Messung von

Zahnhartsubstanzverlust dar [Davis und Winter, 1980; Slop et al., 1983; Valk et al., 1986; Attin et al., 1997b und 1998]. Sie ist besonders geeignet, um Zahnhartsubstanzverluste nach längeren Erosionsphasen zu bestimmen [Sorvari et al., 1994].

Die profilometrische Abtastung kann nur in einer geraden Linie erfolgen, wodurch nur die Varianz der Oberfläche registriert wird. Um eine repräsentative Stichprobe zu erhalten, wurde die Oberfläche der Proben in unserer Studie in fünf parallel zueinander liegenden Bahnen gleichen Abstands und gleicher Länge vermessen. Aus den fünf Einzelwerten wurde ein Mittelwert errechnet. Diese Vorgehensweise wurde bereits von anderen Autoren empfohlen [Attin et al., 1997b; Ganss et al., 2000]. Die Reproduzierbarkeit der profilometrischen Messungen wurde anhand von zwei zufällig ausgewählten Schmelzproben überprüft. Dabei handelte es sich um jeweils eine vom Versuchsleiter subjektiv als „gut“ bzw. „schlecht“ auswertbar beschriebene Probe (ebener bzw. unebener Profilschrieb). Im rechten Winkel zur Kante zwischen geätzter und ungeätzter Fläche wurde jeweils zehnmal profilometrisch abgetastet, ausgewertet und die Standardabweichung errechnet. Sie betrug bei einer „gut“ bzw. „schlecht“ auswertbaren Probe $\pm 1,30$ bzw. $\pm 4,62$ μm . Bei wiederholter Auswertung einer einzelnen Probe wurde eine Standardabweichung von $\pm 0,5$ μm gemessen, womit in Relation zum Substanzverlust zwischen 40 und 60 μm eine hinreichend hohe Genauigkeit bei der Auswertung der Messergebnisse erzielt wurde.

Als Nachteil der Profilometrie muss genannt werden, dass ein „subsurface loss“ nicht erfasst wird, so dass in allen Gruppen von einem insgesamt höheren Mineralverlust ausgegangen werden muss. Ultrastrukturelle Studien haben gezeigt, dass säurehaltige Getränke eine Auflösung der Schmelzprismenzentren oder -hüllen und letztlich der interprismatischen Räume bewirkten, was zu einem charakteristischen Ätzmuster führte [Meurman und Frank, 1991a]. Bereits nach 60sekündiger Anwendung von 37%iger Phosphorsäure wurden strukturelle Veränderungen von 40-50 μm bis 100 μm unter der Schmelzoberfläche beobachtet [Zentner und Duschner, 1996]. Da jedoch aus Gründen der Stabilität über die gesamte Tragezeit sowie bei Anwendung der elektrischen Zahnbürste dicke Proben verwendet werden mussten, stellte die Profilometrie die einzige Untersuchungsmethode dar, denn die longitudinale Mikroradiographie macht die Verwendung dünner Proben (~ 400 μm) notwendig.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Variation des Putzzeitpunktes

Nach den bisher durchgeführten in-vitro-Studien [Mannerberg, 1963; Davis und Winter, 1980; Kelly und Smith, 1988] schien der Putzzeitpunkt eine große Rolle bei der Prophylaxe von Erosionen zu spielen. Von den meisten Autoren wurde ein sofortiges Putzen nach Säureeinwirkung exogener bzw. endogener Natur mit dem Hinweis auf zusätzlichen Abtrag von erweichter Zahnhartsubstanz durch Abrasion abgelehnt [Davis und Winter, 1980; Scheutzel, 1996].

Im vorliegenden Versuch zeigte sich die durch Erosion in der in-situ-Kontrollgruppe verlorene Menge an Zahnhartsubstanz ungefähr halb so groß wie die durch die Kombination aus fluoridfreier Bürstabrasion und Erosion gefundene ($p \leq 0,001$). Damit bestätigen die gefundenen Ergebnisse in-situ die Quintessenz von in-vitro-Studien, dass eine der Erosion folgende Abrasion den Zahnhartsubstanzverlust erhöht [Davis und Winter, 1980; Bartlett et al., 1994; Attin et al., 1997b; Ganss et al., im Druck und 1999b; Hall und Foye, 1998]. So wiesen z. B. Ganss et al. (1999b) eine Zunahme des Substanzverlustes von 32,51 μm auf 52,53 μm nach. Wir fanden aber nicht so hohe Verlusten wie Attin et al. (2000), die einen 5fach höheren Substanzverlust ($5,16 \pm 1,26 \mu\text{m}$) ermittelten, oder Davis und Winter (1980), wo ein 6fach höherer Substanzabtrag gemessen wurde. In einer weiteren Studie wurde durch Erosion in Sprite light (15 min) und nachfolgende Bürstabrasion sogar eine Steigerung des Schmelzverlustes von $75 \pm 25 \text{ nm}$ auf $2,22 \pm 0,21 \mu\text{m}$ angegeben [Attin et al., 1997b].

Bezüglich der Zeitspanne, die nach einem erosiven Angriff abgewartet werden sollte, um eine „Remineralisation“ durch den Speichel zu gewährleisten [Imfeld, 1996b], existieren keine einheitlichen Angaben, jedoch sollte mindestens eine Stunde zwischen säurehaltiger Nahrungsaufnahme und Zähneputzen liegen [Gedalia et al., 1991; Zimmer, 1998; Jaeggi und Lussi, 1999a; Attin et al., 2000]. Der menschliche Speichel enthält nämlich eine Anzahl verschiedener Faktoren, die der Lösung von Mineralien entgegenwirken. Diese beinhalten (1) Verdünnung und Wegspülen von poten-

tiell erosiven Stoffen, (2) Pufferung und Neutralisierung von Säuren aus Nahrungsmitteln durch Stimulation der Speichelsekretion und Erhöhung des Bikarbonatgehaltes; dabei liegt der Bikarbonatgehalt des stimulierten Speichels bis zu 50mal höher als der des Ruhespeichels [Schweitzer-Hirt et al., 1978]. (3) Durch das Vorhandensein von Kalzium und Phosphat im Speichel wird an der Zahnoberfläche ein mit Mineralien übersättigter Zustand aufrecht erhalten, der (4) für eine Remineralisation erforderlich ist [Zero, 1996]. Kalzium-Phosphat-Niederschläge können eine Obliteration des Ätzmusters auf der erodierten Oberfläche bewirken, womit ein nachfolgender weiterer Substanzverlust ansatzweise verhindert oder zumindest verlangsamt werden kann. (5) Weiterhin ermöglicht der Speichel die Bildung des Pellikels.

Da eine „Remineralisation“ im eigentlichen Sinne (analog zur kariösen Läsion) bei erosiven Läsionen aufgrund der fehlenden „subsurface lesion“ mit pseudointakter Oberflächenschicht, die eine Repräzipitation begünstigen könnte, nicht möglich ist [Meurman und ten Cate, 1996], kommen für den gemessenen geringeren Substanzverlust nur ein Mineraliengewinn durch den Niederschlag einer amorphen Kalzium-Phosphat-Schicht – auch ohne Fluorid durch Remineralisation aus dem Speichel [Sadler et al., 1997] – sowie die Steigerung der Oberflächenmikrohärte [Collys et al., 1993; Stösser und Nekrashevych, 1998] in Betracht.

So berichteten Sadler et al. (1997) über eine Zunahme an Mineralien nach Erosion (fünf Tage, fünfmal täglich 5 min in 100 ml Phosphorsäure (pH 3,1)) und intraoralem Tragen (zwei Probanden), die mittels transversaler Mikroradiographie nachgewiesen werden konnte. In den in-situ-Gruppen zeigte sich ein Verlust von $2,2 \pm 1,01 \mu\text{m}$ bzw. $15,5 \pm 3,3 \mu\text{m}$, die Kontrollgruppen wiesen höhere Werte auf ($22,4 \pm 2,2$ bzw. $20,5 \pm 2,7 \mu\text{m}$). Auf den angeätzten Schmelzoberflächen scheinen sich also mineralische Präzipitate anzulagern.

Andere Autoren hingegen konnten auch nach drei Wochen im Mundhöhlenmilieu keinen signifikanten Mineralgewinn an zuvor extraoral mit Phosphorsäure (pH 3,1; fünf Tage lang fünfmal täglich für 5 min) erzeugten Erosionen nachweisen [Creanor et al., 1997]. Auch in-vitro wurde nach 15minütiger Säureeinwirkung auf bovinen Schmelz die Bildung einer irreversiblen Läsion beobachtet, die weder durch zweistündige Einlagerung in normalem Speichel noch durch Lagerung in fluoridiertem

Speichel (2 ppm F⁻) zu beeinflussen war [Rytömaa et al., 1988]. In keiner der beiden Studien erfolgte jedoch eine Bestimmung der Mikrohärt.

Vor allem durch Auffüllen der intra- und interprismatischen Areale mit Mineralien wird auch eine Zunahme der Oberflächenmikrohärt bewirkt [Collys et al., 1993], wie sowohl in-situ als auch in-vitro (48 Stunden intraorale Tragezeit bzw. 8stündige Lagerung in Remineralisationslösung) nachgewiesen werden konnte. Die Länge der Eindrücke betrug in-situ zu Beginn $90,9 \pm 1,9 \mu\text{m}$, nach Demineralisation $126,5 \pm 6,0 \mu\text{m}$ und nach Remineralisation $120,3 \pm 5,0 \mu\text{m}$ bzw. in-vitro $89,9 \pm 2,4$, $132,4 \pm 7,2$ und $125,0 \pm 6,1 \mu\text{m}$ (jeweils signifikant). Ebenso zeigten Stösser und Nekrashevych (1998) in-vitro eine Wiedererhärtung von erodiertem Schmelz (1%ige Zitronensäure, 20 min) durch Speichel. Zwanzig Probanden trugen die Proben eine Woche lang, wobei in der „Speichelgruppe“ täglich zehnmal 30 s mit destilliertem Wasser – und in der „Fluoridgruppe“ mit fluoridhaltiger Mundspüllösung (5 ppm NaF) – gespült wurde. Die ursprüngliche Härte sank durch die Erosion um etwa 50 %. Nach einer Woche wurde in der „Speichelgruppe“ eine Zunahme der Mikrohärt um 17-19 % erfasst.

Auch das Pellikel vermag als „dauerselektive Membran“ die Diffusionsrate (z. B. von Phosphat- und Kalzium-Ionen) zu senken und damit den Zahnschmelz vor Säureeinwirkung zu schützen [Hannig und Bößmann, 1988b], weshalb es auch in einigen Studien gegenüber Erosionen eine gewisse Schutzwirkung zeigte [Meurman und Frank, 1991a; Kuroiwa et al., 1992; Hannig, 1993; Imfeld, 1996b; Amaechi et al., 1998b; Buchanan et al., 1998; Higham et al., 1998]. Das Pellikel ist ein nach einiger Zeit auf einer gründlich gereinigten Zahnoberfläche adsorbierender, unstrukturierter, azellulärer, etwa $0,1\text{-}1 \mu\text{m}$ dicker Film aus Speichelglykoproteinen, der sich aufgrund seiner Eigenladung elektrostatisch an die Kalzium- und Phosphatgruppen des Schmelzapatits anlagert [Hellwig et al., 1995]. Innerhalb von etwa zwei Stunden entsteht bereits ein ca. 100-200 nm dickes, inkomplettes Pellikel [Hannig und Bößmann, 1988b]. Durch die Kombination von Erosion und Abrasion wird es jedoch zumindest teilweise entfernt [Hannig und Bößmann, 1987, 1988a und b].

Durch Lagerung in menschlichem Speichel konnte bereits in-vitro eine Verringerung des durch Erosion hervorgerufenen Substanzverlustes zwischen 18 und 26 % (gegenüber steriler Kochsalzlösung) nachgewiesen werden. Der Substanzverlust wurde mit der longitudinalen Mikroradiographie ermittelt [Ganss et al., 1998a].

In der vorliegenden Studie konnte die Wirkung des menschlichen Speichels deutlich bestätigt werden. Der Vergleich der beiden Kontrollgruppen zeigte in der in-situ-Kontrolle einen um 44 % niedrigeren Substanzverlust gegenüber der in-vitro-Kontrolle.

Zur Ausbildung des Pellikels wurde dann zwei Stunden gewartet, bevor die erodierten Schmelzproben mit fluoridfreier Zahnpasta gebürstet wurden. Der Substanzverlust wurde mit dem beim Bürsten vor und nach Erosion sowie der in-situ-Kontrollgruppe verglichen. Folgende Feststellungen konnten gemacht werden:

1. Im Vergleich zur in-situ-Kontrollgruppe ging, unabhängig vom Putzzeitpunkt, bei einer Bürstabrasion immer signifikant mehr Substanz verloren ($p \leq 0,001$).

Die vorliegende Studie unterstützt die zuvor in-vitro von anderen Autoren gefundenen Ergebnisse, dass die Einwirkung einer erosiven Lösung die Abrasionsbeständigkeit der Schmelzproben drastisch verringerte und zu einem signifikant größeren Substanzabtrag durch nachfolgende fluoridfreie Abrasion führte ($p \leq 0,001$) als bei den Schmelzproben, die nur erodiert worden waren [Davis und Winter, 1980; Valk et al., 1986; Attin et al., 1997b und 2000]. Davis und Winter (1980) beispielsweise fanden, dass durch Erosion allein $0,30 \mu\text{m}$ Substanz verloren ging. Hingegen betrug der Abtrag durch Abrasion vor dem Erodieren und Erosion $0,436 \mu\text{m}$; die Kombination aus Erosion und anschließender Putzabrasion führte zu $0,49 \mu\text{m}$ Verlust.

2. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen Abrasion mit fluoridfreier Zahnpasta im direkten Anschluss an die Erosion und dem nach zweistündiger „Remineralisation“ im Mund, beide wiesen ähnlich hohe Substanzabträge auf – und zwar die höchsten der gesamten Testreihe.

Aus den Ergebnissen der Studie von Stösser und Nekrashevych (1998) (Abnahme der Oberflächenmikrohärte von Schmelz durch Erosion um etwa 50 %, Zunahme durch

„Remineralisation“ um 17-19 %) kann geschlussfolgert werden, dass eine durch Speichel bewirkte „Remineralisation“ von erodiertem Schmelz nicht die Ausgangshärte zurückbringt, was das vorliegende Ergebnis plausibel erscheinen lässt.

3. Abrasion mit fluoridfreier Zahnpasta vor dem Erodieren bewirkte einen signifikant geringeren Abtrag als Abrasion mit fluoridfreier Zahnpasta zu jedem Zeitpunkt nach dem Erodieren ($p \leq 0,001$).

Bestätigung findet diese Erkenntnis im in-vitro-Versuch von Davis und Winter (1980), bei dem in-vitro einer 45sekündigen Säureattacke mit einem Grapefruit-Speichelgemisch (pH 3,5) das Putzen mit einer Zahnbürste (Anpressgewicht von 2 N) und einem Slurry aus einem Teil Wasser und zwei Teilen fluoridfreier Zahnpasta folgte. Durch Abrasion (5 000 Bürstbewegungen) vor Erosion gingen $0,136 \mu\text{m}$ Schmelz verloren. Durch anschließendes Erodieren wurde $0,30 \mu\text{m}$ Schmelz von der Oberfläche entfernt. Durch Abrasion (5 000 Bürstbewegungen) nach Erosion gingen nochmals $0,19 \mu\text{m}$ verloren. Die Autoren stellten fest, dass Putzen mit fluoridfreier Zahnpasta nach einem erosiven Angriff mehr Abrasion bewirkte als wenn vorher geputzt wurde.

Das gefundene Ergebnis erscheint auch im Vergleich mit der in-vitro-Studie von Valk et al. (1986) plausibel. Hier zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen erodierten und anschließend mit Zahnpasta abradierten Schmelzproben gegenüber erodierten, vier Stunden lang in künstlichem Speichel remineralisierten und dann abradierten Proben (Verlust $14,2 \pm 1,16$ zu $13,9 \pm 1,17 \mu\text{m}$). Die Autoren führten dies darauf zurück, dass zwar die Vertiefungen im Ätzmuster von repräzipitierten Mineralien aufgefüllt, aber die spitz zulaufenden Prismenzentren abradiert werden.

Hingegen konnte in-vitro von Attin et al. (2000) eine kontinuierliche, zeitabhängige Zunahme der Widerstandsfähigkeit von erodiertem Schmelz gegenüber Zahnputzabrasion aufgrund von Remineralisation gezeigt werden. Durch einminütige Lagerung in 50 ml Sprite light wurden Erosionen erzeugt, die Remineralisation erfolgte in 50 ml künstlichem Speichel. Sieben Versuchsgruppen wurden gebildet, in vier wurde remineralisiert (A: 0 min, B: 10 min, C: 60 min, D: 240 min) und anschließend mit fluoridfreier Zahnpasta gebürstet. Die Gruppen E (Erosion und 240 min Reminerali-

sation, kein Bürsten), F (Erosion, keine Remineralisation, kein Bürsten) und G (nur Bürsten, keine Erosion, keine Abrasion) dienten als Kontrollen. Pro Versuchsgruppe erfolgten zehn Durchgänge. Unsere Erkenntnis, dass sich Bürsten nach dem Erodieren und zwei Stunden nach dem Erodieren nicht signifikant unterschieden, konnte in dieser in-vitro-Studie nicht bestätigt werden. Im Gegenteil zeigte sich eine signifikante Abnahme des Substanzverlustes von $5,16 \pm 1,26 \mu\text{m}$ (Gruppe A, 0 min) auf $1,72 \pm 0,75 \mu\text{m}$ nach 60 min (Gruppe C, $p < 0,001$) und auf $1,11 \pm 0,42 \mu\text{m}$ nach 240 min (Gruppe D, $p < 0,001$). Die Erosionsdauer betrug bei Attin et al. (2000) 1/20 der unseren. Es liegt nahe, dass auf diese Weise nur eine initiale Erosion erzeugt wurde, was sich auch daran zeigt, dass lediglich $1,04 \pm 0,31 \mu\text{m}$ Zahnhartsubstanz durch Erosion verloren gingen.

Auch in der von Jaeggi und Lussi (1999a) veröffentlichten in-situ-Studie zeigte sich entgegen unseren Ergebnissen, dass je länger die erodierten Proben dem intraoralen Milieu ausgesetzt waren, der Substanzabtrag durch Bürstabrasion um so geringer ausfiel. Die Schmelzproben wurden für 3 min in 20 ml 0,1 M Zitronensäure (pH 3,5) gelagert. Anschließend wurden sie zum Zeitpunkt 0 min (=Bürstabrasion direkt nach dem Erodieren), 30 min oder 60 min mit Zahnpasta gebürstet. Der Zahnhartsubstanzverlust verringerte sich von $0,258 \pm 0,141 \mu\text{m}$ (0 min) auf $0,224 \pm 0,087 \mu\text{m}$ (30 min) und $0,195 \pm 0,075 \mu\text{m}$ (60 min). Auch diese Ergebnisse sind nicht direkt mit der vorliegenden Arbeit vergleichbar, da ebenfalls ein sehr viel kürzeres Erosionsintervall gewählt wurde, fluoridhaltige Zahnpasta zur Abrasion verwendet wurde, die Tragezeit im Mund geringer war, der Substanzverlust aus Mikrohärtemessungen umgerechnet und keine Kontrollgruppe mit reiner Erosion angelegt wurde, wodurch der Anteil der Abrasion am Gesamtverlust nicht quantitativ beurteilt werden kann. Ein kürzeres Aussetzen der Proben im erosiven Medium sorgt für die Bildung einer initialen Erosion, die nur eine geringe Menge der oberflächlichen, fluoridreichen Schmelzschicht aufzulösen vermag und eher die Prismenränder betrifft [Meurman und ten Cate, 1996]. Damit existierte wahrscheinlich eine leichter remineralisierbare Struktur der Schmelzoberfläche als in unserem Versuch. Da die Proben im vorliegenden Versuch 20minütiger Erosion ausgesetzt waren, umfasste die Auflösung mit Sicherheit auch die Prismenzentren und interprismatischen Zonen. Weiterhin nimmt

die Oberflächenmikrohärte von Zahnschmelz mit zunehmender Dauer der Säureeinwirkung ab. Je weicher freilich die Oberfläche wird, desto mehr Abrasion entsteht.

5.2.2 Durch Fluorid erzeugter Effekt

Da bereits verschiedene Autoren fluoridhaltige Zahnpasta und andere fluoridhaltige Mundhygieneprodukte als empfehlenswert zur Prophylaxe von Erosion (und nachfolgender Abrasion) ansahen [Davis und Winter, 1976a und b; Bartlett et al., 1994; Imfeld, 1996b; Ganss et al., 1999b; Hall und Foye, 1998], untersuchten wir den Effekt von Fluorid auf Erosion und Abrasion mit Hilfe von Mundhygieneprodukten unterschiedlich hoher Fluoridkonzentration nach Empfehlung von Imfeld (1996b). Folgende Feststellungen konnten getroffen werden:

- Fluoridhaltige Zahnpasta

Wir konnten nachweisen, dass schon der alleinige Einsatz von fluoridhaltiger Zahnpasta (1 250 ppm) gegenüber dem Putzen mit fluoridfreier Zahnpasta einen 25 % niedrigeren Substanzverlust ($p \leq 0,001$) bewirkte.

- Intensivfluoridierung

Wurde intensiv Fluorid appliziert, konnte der Substanzverlust durch Bürsten sogar ganz vermieden werden; es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zur in-situ-Kontrollgruppe. Der Substanzverlust lag in dieser Gruppe nur noch um etwa 4 μm höher.

- Fluoridhaltige Zahnpasta

In einem unserer Studie ähnlichen Versuchsaufbau konnte in-vitro durch den Einsatz von fluoridhaltiger gegenüber fluoridfreier Zahnpasta eine Reduktion des Substanzverlustes um etwa 15 % bewirkt werden [Ganss et al., 1999b]. Die Schmelzproben wurden 30 min/Tag in 0,05 M Zitronensäure erodiert, 3 min mit einer elektrischen Zahnbürste geputzt und anschließend in Remineralisierungslösung gelagert. Da in

unserer Studie in-situ-Bedingungen vorlagen, erscheint das vorliegende Ergebnis plausibel und zeigt deutlich den positiven Effekt des intraoralen Milieus.

Unser Ergebnis wird auch durch die in-vitro-Studie von Bartlett et al. (1994) bestätigt. Dort bewirkte der Einsatz von fluoridierter (1 236 ppm) gegenüber fluoridfreier Zahnpasta (gleicher RDA-Wert) eine Verringerung des Schmelzverlustes um 41 %.

Ebenso unterstützt die Studie von Hall und Foye (1998) das gefundene Ergebnis. In-vitro wurde die Wirkung von fluoridhaltiger (1 100 ppm und 1 300 ppm) gegenüber nichtfluoridierter Zahnpasta in Bezug auf Substanzverlust durch Bürsten nach Erosion untersucht. Es wurde eine signifikante Reduzierung des Schmelzverlustes bei Benutzung von fluoridhaltiger Zahnpasta im Vergleich zum alleinigen Erodieren bzw. dem Putzen mit fluoridfreier Zahnpasta nach dem Erodieren festgestellt.

Vergleichbare in-situ-Studien liegen bislang nicht vor.

- Intensivfluoridierung

Der Vergleich mit derselben in-vitro-Studie (30 min/Tag Erodieren in 0,05 M Zitronensäure, 3 min Bürsten mit elektrischer Zahnbürste, dann Lagerung in Remineralisierungslösung) zeigt auch für intensiven Fluorideinsatz in-situ ein deutlich positives Ergebnis. In-vitro betrug die Minderung des Substanzverlustes in der ähnlich aufgebauten Studie etwa 23 % [Ganss et al., 1999b]. Wir konnten indessen nachweisen, dass durch Intensivfluoridierung der Substanzverlust sogar so stark abnahm, dass kein signifikanter Unterschied zur in-situ-Kontrolle ermittelt werden konnte.

In-vitro konnte bereits von Valk et al. (1986) gezeigt werden, dass der durch Bürstabrasion hervorgerufene Zahnhartsubstanzverlust nach Erosion niedriger ausfiel, wenn vor der Bürstabrasion saures Fluoridgel aufgetragen wurde ($13,2 \pm 1,45$ zu $14,2 \pm 1,16 \mu\text{m}$). Attin et al. (1999) konnten dann in-vitro nachweisen, dass die Bürstabrasion einer erodierten Schmelzprobe unter Einsatz von saurem Fluoridgel (pH 4,5, 1,25 % F⁻) signifikant ($p < 0,001$) geringer war als wenn unfluoridiertes bzw. neutrales Gel benutzt wurde.

Die gefundenen Ergebnisse der Intensivfluoridierung lassen sich leider nicht mit in-situ-Studien vergleichen, da zur Zeit keine ähnlichen Untersuchungen vorliegen.

5.2.3 Wirkungsmechanismen der Fluoridzufuhr

Die Wiedererhärtung von erodierten Schmelzoberflächen stellt keine *restitutio ad integrum* dar, sondern eher das Ergebnis einer Präzipitation von verschiedenen Kalziumphosphaten, die in Säure schlecht löslich sind (wie z. B. Brushit oder Dicalciumphosphat), in die porös veränderte Schmelzmatrix. Der Effekt von Fluorid auf die Progression von Erosionen ist nicht so gut untersucht wie die Wirkung von Fluorid bei der Remineralisierung von frühen kariösen Läsionen. Jedoch bestehen zwei Theorien für die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Zahnschmelz gegenüber Abrasion und Erosion durch Fluoridapplikation:

- Mineralzugewinn

Aus den bisher durchgeführten Studien kann auch auf den zugrundeliegenden Wirkungsmechanismus geschlossen werden: Die Bildung von amorphen Kalzium-Phosphat- [ten Cate, 1999] und, bei Anwesenheit hoher Fluorionen-Konzentrationen, Kalzium-Fluorid-ähnlichen Schichten [Larsen und Fejerskov, 1978; Caslavská et al., 1991; Fejerskov et al., 1994]. Valk et al. (1986) konnten in diesem Zusammenhang nachweisen, dass der Fluoridgehalt von Zahnschmelz nach Säureangriff und Abrasion neunmal höher war, wenn nach dem Ätzen saures Fluoridgel appliziert wurde. Eine hohe Fluorid-Konzentration senkt den Ionenaustausch an der Schmelzoberfläche und begünstigt damit die Bildung einer schlecht durchdringbaren oberflächlichen CaF_2 -Schicht [Imfeld, 1996b]. Ein niedriger pH-Wert (4,5) des verwendeten Fluoridgels fördert die Anwesenheit von Kalzium zur Reaktion mit Fluorid, womit die Bildung einer dickeren CaF_2 -Schicht bewirkt wird [Rølla und Saxegaard, 1990 in Attin et al., 1999]. Elektronenmikroskopisch konnte bereits gezeigt werden, dass eine mit Fluoridgel vorbehandelte Schmelzoberfläche nach einem Säurekontakt nahezu kein Ätzmuster aufwies [Tandon und Mathew, 1997].

CaF_2 -Schichten stellen ein natürliches Fluorid-Reservoir dar, aus dem unterhalb von pH 6 Fluorionen freigesetzt werden. Sobald wieder ein neutraler pH-Wert erreicht ist,

liegt erneut ein unlösliches CaF_2 -Kristallgefüge vor. Ein gemessener Substanzverlust verringert sich damit schon durch die Anwesenheit der CaF_2 -Deckschichten an sich. Weiterhin können CaF_2 -Deckschichten in-situ durch Anlagerung von Phosphat und Speichelproteinen stabilisiert werden [Rølla et al., 1993], möglicherweise zeigte sich deshalb in der vorliegenden Studie ein besserer Effekt durch Fluoridapplikation als in-vitro.

Büyükyilmaz et al. (1997) erreichten in-vitro unter Einsatz von 4%iger Titanfluoridlösung die Bildung einer oberflächlichen „Schutz“-Schicht auf Zahnschmelz, die selbst durch starke Salzsäure nicht entfernt werden konnte, wie ebenfalls elektronenmikroskopisch belegt wurde. Jedoch wurde angemerkt, dass dieser Effekt eher auf den Titan- als auf den Fluoridanteil zurückzuführen gewesen sein mag.

Andere Autoren zeigten in-vitro, dass allein durch Auftragen (ohne zu bürsten) von fluoridhaltiger Zahnpasta auf erodierte Schmelzproben und Lagerung in Remineralisationslösung verglichen mit der Kontrollgruppe (nur Erosion) ein 36 % geringerer Gesamtverlust gemessen werden konnte [Ganss et al., im Druck].

- Steigerung der Mikrohärtte

CaF_2 -Deckschichten führen durch Härtesteigerung [Schemehorn et al., 1999] zu einer Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Abrasionen. Mikrohärtmessungen haben gezeigt, dass erosiv erweichte Oberflächen durch lokale Fluoridapplikation wieder „erhärten“ [Sorvari et al., 1994; Büyükyilmaz et al., 1997], allerdings nicht bis zur Ausgangshärte [Stösser und Nekrashevych, 1998]. Die Autoren wiesen nach, dass durch Spülen mit einer natriumfluoridhaltigen Mundspülung (5 ppm) die Mikrohärtte von erosiv erweichten Schmelzoberflächen um 24-27 % zunahm. Auch Collys et al. (1993) zeigten in-situ wie in-vitro eine signifikante Härtung von säuregeätztem Schmelz (37%ige Phosphorsäure, 30 s) durch Remineralisation mit Speichel und Fluoridapplikation (in-situ) bzw. einer Lösung mit 1 ppm F^- (in-vitro). In der in-situ-Gruppe wurde 48 Stunden eine Apparatur mit Schmelzproben getragen, wobei nur die eigenen Zähne zweimal täglich 3 min mit Zahnpasta (2 500 ppm F^-) gebürstet wurden. In-vitro erfolgte eine 8stündige Lagerung in 80 ml Remineralisationslösung.

Die Mikrohärtebestimmung zeigte in-situ bzw. in-vitro nach Erosion eine Zunahme der Eindringlänge von $91,3 \pm 1,8 \mu\text{m}$ auf $133,4 \pm 8,2 \mu\text{m}$ bzw. von $90,0 \pm 2,0 \mu\text{m}$ auf $128,4 \pm 4,4 \mu\text{m}$, durch Remineralisation verringerte sie sich auf $119,8 \pm 7,1 \mu\text{m}$ bzw. $120,6 \pm 3,2 \mu\text{m}$.

5.2.4 Einordnung der Intensivfluoridierung in die Fluoridtoxikologie

In Anbetracht dessen, dass im Rahmen der Intensivfluoridierung häufig Fluorid appliziert wurde, erscheint es sinnvoll, kurz auf die toxikologischen Gesichtspunkte einer Fluoridanwendung dieser Art und Größenordnung einzugehen.

Die Zufuhr von 0,02 mg Fluorid pro kg Körpergewicht und Tag stellt aus toxikologischer Sicht kein Problem dar. Fluorid kann jedoch – wie auch jede andere Substanz, die dem menschlichen Organismus zugeführt wird – bei Überdosierung eine toxische Wirkung entfalten. Man unterscheidet zwischen akuter Toxizität mit Zeichen der akuten Vergiftung und chronischer (oder latenter) Toxizität, bei der es in der Entwicklungsphase der Zähne zu Zahnfluorosen kommen kann. Skelettfluorosen können bei stark überhöhter Dosierung über Jahre hinweg vorkommen (z. B. durch einen Trinkwasserfluoridgehalt von über 8 mg/l). Die Dosis, bei der mit Sicherheit eine toxische Wirkung eintritt, wird als Certainly Toxic Dose (=CTD) bezeichnet. Für Erwachsene beträgt sie zwischen 32 und 64 mg Fluorid/kg Körpergewicht, abhängig von verschiedenen Parametern, wie z. B. Art und Löslichkeit des Fluorids sowie der Resorptionsgeschwindigkeit. Für Kinder sollte die wahrscheinlich toxische Dosis (Probably Toxic Dose) von 5 mg Fluorid/kg Körpergewicht angenommen werden. Bei Überschreiten dieser Dosis sind Notfallmaßnahmen zur Reduzierung der Fluoridresorption im Magen-Darmtrakt notwendig [Hellwig et al., 1995].

Da die Problematik der Erosionen nur bei Erwachsenen in ausgeprägtem Rahmen aufzutreten scheint, erscheint die von uns verwendete Zahnpasta (1 250 ppm F⁻) zur lokalen Fluoridzufuhr gut geeignet. Bei der intensiven Fluoridanwendung wurde in dieser Studie ein Fluoridgel verwendet, das aufgrund seines hohen Fluoridgehaltes (12 500 ppm) rezeptpflichtig ist und laut Hersteller nur einmal pro Woche angewendet werden sollte. In der vorliegenden Studie wurde es gleichwohl zweimal pro Wo-

che angewendet. Ausgehend von den Messwerten des Zahnpasta-Verbrauchs kommen wir zu dem Ergebnis, dass bei einer durchschnittlich verwendeten Menge von 0,52 g Gel pro Putzvorgang 6,5 mg Fluorid im Mund verteilt wurden. Selbst wenn die gesamte Menge verschluckt werden würde, bestünde dennoch keine Gefahr für den menschlichen Gesamtorganismus.

Weiterhin wurde zweimal täglich mit 10 ml einer fluoridhaltigen Mundspüllösung (250 ppm) gespült, was 2,5 mg Fluorid im Falle des Verschluckens entspricht.

Im ungünstigsten Fall, dem Verschlucken von fluoridhaltiger Zahnpasta (0,42 g), der Mundspülung (20 ml) und des Fluoridgels (0,52 g) würden insgesamt 9,525 mg Fluorid in den Körper gelangen. Bezogen auf die CTD von 180 mg (bei 60 kg Körpergewicht) wäre eine Gefahr erst bei der 18fachen Menge zu erwarten, so dass die Durchführung einer intensiven Fluoridierung im Hinblick auf toxikologische Aspekte unbedenklich ist.

5.3 Unterschiede Probanden

Bei der Betrachtung der einzelnen Probanden fanden sich deutliche Unterschiede sowohl in Bezug auf den rein säurebedingten Substanzverlust als auch in allen Versuchsgruppen mit Bürstabrasion. Für diese Unterschiede kommen folgende Ursachen in Betracht:

- Fehler bei der extraoralen Erosionszeit
So wurde zwar die Zeit im erosiven Medium anhand einer Uhr auf 20 Minuten begrenzt, jedoch besteht die Möglichkeit, dass durch Ablesefehler bzw. Unaufmerksamkeit die Erosionszeit nicht genau eingehalten wurde. Relativiert wird dies durch folgende Überlegung: Der durchschnittliche Substanzverlust bei reiner Erosion betrug über fünf Versuchstage hinweg $45\text{ }\mu\text{m}$. Umgerechnet auf einen Tag bedeutet dies einen Substanzverlust von $9\text{ }\mu\text{m}$ bei einer Erosionszeit von 2×20 Minuten. Pro Minute ergibt sich damit ein Substanzverlust von $0,225\text{ }\mu\text{m}$. Wenn versehentlich 10 min zu lang erodiert worden wäre, resultierte daraus ein Fehler von $2,25\text{ }\mu\text{m}$, der nicht stark ins Gewicht fiel.
- Variationen beim Putzdruck im Bereich von $\pm 30\text{ N}$ waren möglich, ein sich daraus ergebender Effekt eher unwahrscheinlich, da der Putzdruck immer limitiert war und in einer in-vitro-Studie gezeigt werden konnte, dass der Putzdruck keinen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Bürstabrasion bildete [Ganss et al., 1999b].
- Es gab Unterschiede im Verbrauch an Zahnpasta bezogen auf die einzelnen Probanden.
- Am wahrscheinlichsten ist wohl ein in den Speichelparametern der einzelnen Probanden liegender Unterschied.

Die größten Unterschiede zeigten sich beim Putzzeitpunkt. Da hier die Fähigkeit des Speichels zur Repräzipitation von Mineralien entscheidend ist, könnten die aufgetretenen Differenzen konsequenterweise auch durch die von Person zu Person unterschiedlichen Speichelfaktoren bedingt gewesen sein. In einer in-situ-Studie konnten immerhin 25 % der interindividuellen Variation anhand der drei Variablen Länge der

intraoralen Aufbewahrung, Sekretionsrate des Ruhespeichels und Schwere des erosiven Defektes erklärt werden [Jaeggi und Lussi, 1999a].

Ebenso könnten auch Unterschiede in der Pellikeldicke und –zusammensetzung ursächlich für die unterschiedlich hohen Werte gewesen sein. So wurde von Carlén et al. (1998) nachgewiesen, dass die zur Bildung des Pellikels notwendigen Speichelproteine individuell unterschiedlich sind und damit auch Variationen in der Pellikelzusammensetzung bestehen. Weiter wurde erkannt, dass das Pellikel in Abhängigkeit von der sekretbildenden Speicheldrüse (Glandula Parotis oder Submandibularis und Sublingualis) regional unterschiedlich dick sein kann. Damit besteht auch die Möglichkeit, dass sich bei Proband DF – mit dem größten Substanzverlust in der Versuchsgruppe Bürsten vor Erosion – nur ein unvollständiges Pellikel gebildet hatte, das dann durch Bürstabrasion stark geschwächt bzw. teilweise entfernt worden sein könnte. Dies wurde bereits von anderen Autoren gezeigt (rotierende Prophylaxe-Bürsten – ähnlich den von uns verwendeten – in Verbindung mit Schlämmkreide) [Hannig und Bößmann, 1987]. In einer weiteren Studie wurde festgestellt, dass das Pellikel ebenfalls durch den Einsatz fluoridhaltiger Zahnpasta mit Prophylaxe-Bürsten nahezu vollständig entfernt werden kann [Hannig und Bößmann, 1988a]. Auch Kuroiwa et al. (1992) zeigten in-vitro, dass der Gebrauch von Zahnpasta mit Abrasivkörpern das Pellikel von der Zahnoberfläche entfernte, womit der Zahn empfindlicher gegenüber Säureeinwirkung wurde.

Hingegen zeigten sich in der vorliegenden Arbeit die geringsten Unterschiede bei Anwendung der Intensivfluoridierung. Hypothetisch könnte durch die Applikation von Fluoridgel, fluoridhaltiger Mundspülung und fluoridhaltiger Zahnpasta eine sehr dicke amorphe Kalzium-Phosphat-Fluorid-Deckschicht entstanden sein, die die Proben so abrasionsbeständig machte, dass individuelle Faktoren (z. B. Speichel) keine so große Rolle mehr spielten.

5.4 Empfehlungen

Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich für erosionsgefährdete und bereits von Erosionen betroffene Personen folgende Empfehlungen zur Prophylaxe geben:

- Vor dem Säureangriff putzen

Nach unseren Ergebnissen können bisherige Empfehlungen, vor einem erosiven Angriff zu putzen, aufrecht erhalten werden. Signifikant weniger Substanzverlust zeigte sich beim Putzen vor der Erosion gegenüber dem Putzen nach der Erosion (-13,8 %) und dem Putzen nach zweistündigem Warten (-16,8 %).

Die Empfehlung vor dem Säureangriff zu putzen, erscheint praktikabel und für den Patienten leicht verständlich. Da außerdem in der Dritten Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS III) festgestellt wurde, dass etwa 54 % der 35-44jährigen bereits vor dem Frühstück die Zähne putzen, ist nicht mit allzu großen Umstellungsschwierigkeiten für den Patienten zu rechnen.

Jedoch ist bei dieser Empfehlung zur Vermeidung negativer Nebeneffekte ein individuelles Monitoring im Hinblick auf die Entstehung von Gingivitis und Karies notwendig.

- Intensivfluoridierung

Auch durch intensiven Fluorideinsatz konnte eine deutliche Verringerung des Substanzverlustes durch Erosion und Abrasion erreicht werden. Mittels der Intensivfluoridierung konnte offenbar sogar der zusätzliche Substanzverlust durch Abrasion nahezu verhindert werden (kein signifikanter Unterschied zur in-situ-Kontrolle), was einen deutlichen Vorteil darstellt.

Als nachteilig muss hier die Grundvoraussetzung einer guten Compliance der Patienten zur gewissenhaften und konsequenten Durchführung der Intensivfluoridierung angesehen werden.

Spekulativ ist von einem additiven Effekt von Abrasion vor Erosion und Intensivfluoridierung auszugehen, was in weiteren Studien überprüft werden sollte.

5.5 Ausblick

Zurzeit fehlen weitergehende Untersuchungen zur Form der effektivsten Fluoridanwendung zwecks Prophylaxe von Erosion und Abrasion. Da bisherige Empfehlungen und Untersuchungen auf Erkenntnissen der Kariologie fußen, ist bislang beispielsweise nicht erforscht, welche Fluoridverbindung mit welchem pH-Wert und in welcher Konzentration die geeignetste für die Prophylaxe von Erosion und Abrasion darstellt. Ebenso gibt es keine eindeutigen Hinweise auf die optimale Applikationsform der Fluoridpräparate.

Weiterhin könnte der positive Effekt der Intensivfluoridierung durch Kombination mit Bürsten vor der Erosion eventuell noch verbessert werden. Studien in diese Richtung sollten angestrengt werden.

Da das Dentin als Teil der Zahnhartsubstanz durch Erosion und Abrasion häufig mitbetroffen ist, sollten auch Untersuchungen angestrengt werden, die sich mit der Wirkung von unterschiedlichen Fluoridierungsmaßnahmen und Putzzeitpunkten auf das Zahnbein beschäftigen.

Für die aus der vorliegenden Studie hervorgehenden Empfehlungen schließlich ergibt sich die Notwendigkeit einer Überprüfung in klinisch-experimentellen Studien.

6 Zusammenfassung

Das Auftreten von Erosionen ist bei häufigem Säurekontakt stark erhöht. Durch Erosion entsteht eine teilweise demineralisierte und erweichte Schmelzoberfläche mit erhöhter Empfindlichkeit gegenüber Abrasionen. Fluoridpräparate können dem entgegenwirken. Konkrete Empfehlungen zur Prophylaxe von Bürstabrasionen an erodiertem Zahnschmelz fehlen jedoch. Um die Auswirkung von Erosion und Abrasion in Abhängigkeit von Fluorideinsatz und Putzzeitpunkt zu ermitteln, wurde daher eine kontrollierte in-situ-Studie durchgeführt.

Über fünf Tage wurden plan geschliffene und polierte Schmelzproben zweimal täglich extraoral erodiert (20 min in 0,05 M Zitronensäure), sonst wurden sie intraoral getragen. Nach einem standardisierten Schema wurde 30 s mit fluoridhaltiger (1 250 ppm) bzw. -freier Zahnpasta abradiert. Gruppe 1 und 7 dienten als in-situ- bzw. in-vitro-Kontrollen (keine Abrasion). Mit fluoridfreier Zahnpasta erfolgten Abrasionen vor (Gruppe 2), direkt nach (Gruppe 3) und zwei Stunden nach Erosion (Gruppe 4). In Gruppe 5 wurde nach der Erosion mit Fluoridzahnpasta gebürstet. Gruppe 6 entsprach Gruppe 5 bis auf Tag 1 und 3 (abends statt Zahnpasta 1,25%iges Fluoridgel) sowie zusätzlich zweimal täglich Mundspülung (0,22 % F⁻).

Nach profilometrischer Auswertung ergab sich statistisch eine Normalverteilung und ein t-Test für paarige Stichproben wurde durchgeführt (Signifikanzniveau $\leq 0,05$).

Mit 44 % weniger Substanzverlust zeigte das intraorale Milieu gegenüber der in-vitro-Kontrolle einen deutlich positiven Effekt ($p \leq 0,001$). Beim Einsatz fluoridfreier Zahnpasta trat durch Bürsten vor der Erosion der geringste Substanzverlust auf; Bürsten direkt bzw. zwei Stunden nach der Erosion bewirkte einen 16 % bzw. 20 % höheren Abtrag. Verglichen mit der in-situ-Kontrolle führte jedoch auch Bürsten vor Erosion zu erhöhtem Substanzverlust (+52 %, $p \leq 0,001$).

Fluoridhaltige bewirkte gegenüber fluoridfreier Zahnpasta eine Minderung des Substanzverlustes um 35 % ($p \leq 0,001$); die Intensivfluoridierung (Gruppe 6) sorgte für eine Reduktion um 48 % ($p \leq 0,001$). Im Vergleich zur in-situ-Kontrollgruppe ging in

Gruppe 5 dennoch 12,5 % mehr Substanz verloren ($p \leq 0,01$). Zwischen der in-situ-Kontrollgruppe und Gruppe 6 zeigte sich kein signifikanter Unterschied.

Aus den Ergebnissen wird gefolgert, dass Bürsten vor Erosion den Zahnhartsubstanzverlust deutlich mindert, wenn auch nicht verhindert. Ein solches Vorgehen erscheint praktikabel, erfordert jedoch ein individuelles Gingivitis- und Karies-Monitoring. Die Intensivfluoridierung bewirkte sogar eine Reduktion des Substanzverlustes auf das Niveau der in-situ-Kontrolle, setzt aber die Compliance des Patienten voraus.

Im vorliegenden „worst case“-Modell konnte ein durch Erosion und Abrasion bedingter Substanzverlust nicht verhindert werden. In-vivo ist aufgrund anderer Voraussetzungen ein geringerer Substanzverlust zu erwarten, weshalb die Ergebnisse in klinisch-experimentellen Studien überprüft werden sollten. Ein positiver Effekt durch Kombination von Abrasion vor Erosion und Intensivfluoridierung wird angenommen und sollte ebenso wie das Dentin Gegenstand weiterer Forschung sein.

7 Literaturverzeichnis

AESCHBACHER M: Die Erweichung der Schmelzoberfläche durch Fruchtsäfte unter in-vitro-Bedingungen. Schweiz Mschr Zahnheilk 1967;77:58-62

AMAECHI BT, HIGHAM SM, EDGAR WM: The influence of xylitol and fluoride on dental erosion in vitro. Arch Oral Biol 1998a;43:157-61

AMAECHI BT, HIGHAM SM, MILOSEVIC A, EDGAR WM: Thickness of acquired salivary pellicle as the determinant of the sites of dental erosion (Abstract). Caries Res 1998b;32:311

AMAECHI BT, HIGHAM SM, EDGAR WM: Factors influencing the development of dental erosion in vitro: enamel type, temperature and exposure time. J Oral Rehab 1999;26:624-30

ANDON MB, KANERVA RL, ROTRUCK JT, SMITH KT: Method of preventing tooth enamel erosion utilizing an acidic beverage containing calcium. 1992 U S patent no. 5,108,761

ASHMORE H: Dental enamel abrasion – an in vitro method using interference microscopy. Br Dent J 1966;120:309-14

ASHMORE H, VAN ABBÉ NJ, WILSON SJ: The measurement in vitro of dentine abrasion by toothbrush. Br Dent J 1972;133:60-6

ATTIN T, HILGERS RD, HELLWIG E: Beeinflussung des erosionsbedingten Oberflächenhärteverlusts von Zahnschmelz durch Fluorid. Dtsch Zahnärztl Z 1997a;52:241-5

ATTIN T, KOIDL U, BUCHALLA W, SCHALLER HG, KIELBASSA AM, HELLWIG E: Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel. Archs Oral Biol 1997b;42:243-50

ATTIN T, ZIRKEL C, HELLWIG, E: Brushing abrasion of eroded dentin after application of sodium fluoride solutions. Caries Res 1998;32:344-50

ATTIN T, DEIFUSS H, HELLWIG E: Influence of acidified fluoride gel on abrasion resistance of eroded enamel. Caries Res 1999;33:135-9

ATTIN T, BUCHALLA W, GOLLNER M, HELLWIG E: Use of variable remineralization periods to improve the abrasion resistance of previously eroded enamel. Caries Res 2000;34:48-52

- BARBAKOW F, IMFELD T, LUTZ F, STOOKEY G, SCHEMEHORN B: Dentin abrasion (RDA), enamel abrasion (REA) and polishing scores of dentifrices sold in Switzerland. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1989;99:408-13
- BARTLETT DW, SMITH BGN, WILSON RF: Comparison of the effect of fluoride and non-fluoride toothpaste on tooth wear in vitro and the influence of enamel fluoride concentration and hardness of enamel. *Br Dent J* 1994;176:346-8
- BONTE E, DESCHAMPS N, GOLDBERG M, VERNONIS V: Quantification of free water in human dental enamel. *J Dent Res* 1988;67:880-2
- BRUGGEN CATE HJ TEN: Dental erosion in industry. *Br J Ind Med* 1968;25:249-66
- BUCHANAN C, HALL AF, MILLETT DT, CREANOR SL, FOYE RH: An in vitro evaluation of the effect of saliva on erosion of enamel and dentine (Abstract). *Caries Res* 1998;32:311
- BÜYÜKYILMAZ T, ØGAARD B, ROLLA G: The resistance of titanium tetrafluoride-treated human enamel to strong hydrochloric acid. *Eur J Oral Sci* 1997;105:473-7
- CARLÉN A, BÖRJESSON A-C, NIKDEL K, OLSSON J: Composition of pellicles formed in vivo on tooth surfaces in different parts of the dentition, and in vitro on hydroxyapatite. *Caries Res* 1998;32:447-55
- CASLAVSKA V, GRON P, KENT RL, JOSHIPURA K, DEPAOLA PF: CaF₂ in enamel biopsies 6 weeks and 18 months after fluoride treatment. *Caries Res* 1991;25:21-6
- CATE JM TEN, DUIJSTERS PPE: Influence of fluoride in solution on tooth demineralization. 1. Chemical data. *Caries Res* 1983a;17:193-9
- CATE JM TEN, DUIJSTERS PPE: Influence of fluoride in solution on tooth demineralization. 2. Microradiographic data. *Caries Res* 1983b;17:513-9
- CATE JM TEN: In vitro studies on the effects of fluoride on de- and remineralization. *J Dent Res* 1990;69:614-9
- CATE JM TEN: Current concepts on the theories of the mechanism of action of fluoride. *Acta Odontol Scand* 1999;57:325-9
- CENTERWALL BS, ARMSTRONG CW, FUNKHOUSER GS, ELZAY RS: Erosion of dental enamel among competitive swimmers at a gas-chlorinated swimming pool. *Am J Epidemiol* 1986;123:641-7
- CHAUDRY SI, HARRIS JL, CHALLACOMBE SJ: Dental erosion in a wine merchant: an occupational hazard? *Br Dent J* 1997;182:226-8

CHOW LC, BROWN WE: The role of $\text{CHPO}_4\text{-H}_2\text{O}$ in apatic fluoride formation by topical treatments (Abstract). J Dent Res 1976;55:B169

COLLYS K, CLEYMAET R, COOMANS D, MICHOTTE Y, SLOP D: Rehardening of surface softened and surface etched enamel in vitro and by intraoral exposure. Caries Res 1993;27:15-20

CREANOR SL, SADLER JP, HALL AF, STRANG R, FOYE RH: Remineralisation of erosive lesions in enamel and dentine in situ (Abstract). Caries 1997;31:318

DAVIS WB, WINTER PJ: A laboratory method of measuring the effects of erosive agents on dentine and enamel. J Dent Res 1976a;55:D138

DAVIS WB, WINTER PJ: Measurement in vitro of enamel abrasion by dentifrice. J Dent Res 1976b;55:970-5

DAVIS WB, WINTER PJ: The effect of abrasion on enamel and dentine after exposure to dietary acid. Br Dent J 1980;148:253-6

EDGAR WM, AMAECHI BT, HIGHAM SM: Effect of temperature and exposure time on the production of erosive lesions (Abstract). Caries Res 1997;31:319

ERICSSON Y: Clinical investigations of the salivary buffering action. Acta Odontol Scand 1959;17:131

FEJERSKOV O, LARSEN MJ, RICHARDS A, BAEUM V: Dental tissue effects of fluoride. Adv Dent Res 1994;8:15-31

FRALEIGH CM, MC ELHANEY JH, HEISER RA: Toothbrushing force study. J Dent Res 1967;46:209-14

FRANK RM, HAAG R, HEMMERLE J: The role of mechanical factors in the development of cervical wedge-shaped erosions [Article in French]. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1989;99:521-9

GANSS C, KLIMEK J, SCHÄFFER U, SPALL T: Effectiveness of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine. Caries Res (im Druck)

GANSS C, SCHWEITZER M, JUNG M, KLIMEK J: Effect of human saliva on dental progression in vitro (Abstract). J Dent Res 1998a;77(special issue B):794

GANSS C, SCHLECHTRIEMEN M, KLIMEK J: Dental erosions in subjects living on a raw food diet. Caries Res 1999a;33:74-80

GANSS C, KLIMEK J, WESTERFELD F: Effect of toothbrush abrasion on dental erosion in vitro (Abstract). Caries Res 1999b;33:325

GANSS C, KLIMEK J, SCHWARZ N: A comparative in vitro study of the susceptibility of polished and natural human enamel and dentine surfaces to erosive demineralisation. Arch Oral Biol 2000;45:897-902

GEDALIA I, DAKUAR A, SHAPIRA A, LEWINSTEIN I, GOULTSCHIN J, RAHAMIM E: Enamel softening with Coca-Cola and rehardening with milk or saliva. Am J Dent 1991;4:120-2

GILMOUR AG, BECKETT HA: The voluntary reflux phenomenon. Br Dent J 1993;175:368-72

GRABENSTETTER RJ, BROGE RW, JACKSON FL, RADIKE AW: The measurement of the abrasion of human teeth by dentifrice abrasives: a test utilizing radioactive teeth. J Dent Res 1958;37:1060-8

GREGORY JR, HINDS K: National diet and nutrition survey: children aged 1,5 to 4,5 years. Report of the dental survey 1995 Volume 2. Office of Population Censuses and Surveys. Her Majesty's Stationery Office, London.

GRENBY TH: In vitro Experimente über die Auswirkungen von Erfrischungsgetränken auf die Zahnhartsubstanz. Oralprophylaxe 1990;12:103-13

GRENBY TH: Lessening dental erosive potential by product modification. Eur J Oral Sci 1996;104:221-8

HALL AF, FOYE RH: Effect of fluoridated and non-fluoridated dentifrice use on erosion of enamel and dentine in vitro (Abstract). Caries Res 1998;32:312

HANNIG M, BÖBMANN K: Die Abrasivität des Pellikels unter klinischen Gesichtspunkten. Dtsch Zahnärztl Z 1987;42:1015-20

HANNIG M, BÖBMANN K: Die Bedeutung der Pellikelabriebfestigkeit bei der Zahnreinigung mit fluoridhaltigen Zahnpasten. Dtsch Zahnärztl Z 1988a;43:880-3

HANNIG M, BÖBMANN K: Das Abriebverhalten des exogenen Zahnoberhäutchens bei der Zahnreinigung mit Zahnbürste und Zahnpaste. Oralprophylaxe 1988b;10:3-10

HANNIG M: Mikromorphologische Veränderungen an der Schmelzoberfläche durch verschiedene Säuren. ZWR 1993;102:604-11

HEFFERREN JJ: A laboratory method for assessment of dentifrice abrasivity. J Dent Res 1976;55:563-73

HELLWIG E, KLIMEK J, ATTIN T: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Schwarzenberg, München 1995

HIGHAM SM, AMAECHI BT, EDGAR WM: Remineralization of eroded enamel lesions by saliva and saliva substitutes (Abstract). Caries Res 1998;32:311

HUGHES JA, WEST NX, PARKER DM, NEWCOMBE RG, ADDY M:
Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink in vitro and in situ. 1. Comparison with orange juice. J Dent 1999a;27:285-9

HUGHES JA, WEST NX, PARKER DM, NEWCOMBE RG, ADDY M:
Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink. 3. Final drink and concentrate, formulae comparisons in situ and overview of the concept. J Dent 1999b;27:345-50

IMFELD T: Identification of low caries risk dietary components; in Meyers HM (Herausgeber): Monographs in oral science. Basel, Karger, 1983

IMFELD T: Dental erosion. Definition, classification and links. Eur J Oral Sci 1996a;104:151-5

IMFELD T: Prevention of progression of dental erosion by professional and individual prophylactic measures. Eur J Oral Sci 1996b;104:215-20

JAEGGI T, LUSSI A: Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: an in situ study. Caries Res 1999a;33:455-61

JAEGGI T, SCHAFFNER M, BÜRGIN W, LUSSI A: Erosionen und keilförmige Defekte bei Rekruten der Schweizer Armee. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1999b;109:1171-8

JÄRVINEN V, MEURMAN JH, HYVÄRINEN H, RYTÖMAA I, MURTOMAA H.
Dental erosion and upper gastrointestinal disorders. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1988;65:298-303

JÄRVINEN VK, RYTÖMAA I, HEINONEN OP: Risk factors in dental erosion. J Dent Res 1991;70:942-7

JOHANSSON AK, SORVARI R, MEURMAN JH, BIRKHED D: In vitro effect of citric acid on deciduous and permanent enamel (Abstract). Caries Res 1998;32:310

KELLY MP, SMITH BGN: The effect of remineralizing solutions on tooth wear in vitro. J Dent 1988;16:147-9

KUROIWA M, KODAKA T, KUROIWA M, ABE M: Acid resistance of human enamel by brushing with and without abrasive dentifrice. J Biol Buccale 1992;20:175-80

LARSEN MJ, FEJERSKOV O: Structural studies on calcium fluoride formation and uptake of fluoride in surface enamel in vitro. Scand J Dent Res 1978;86:337-45

LARSEN MJ, FEJERSKOV O: Chemical and structural challenges in remineralization of dental enamel lesions. Scand J Dent Res 1989;97:285-96

- LARSEN MJ, NYVAD B: Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 1999;33:81-7
- LEVINE RS: Fruit juice erosion - an increasing danger. *J Dent* 1974;2:85-8
- LINDÉN LA, BJORKMAN S, HATTAB F: The diffusion in vitro of fluoride and chlorhexidine in the enamel of human deciduous and permanent teeth. *Arch Oral Biol* 1986;31:33-7
- LINKOSALO E, MARKKANEN H: Dental erosions in relation to lactovegetarian diet. *Scand J Dent Res* 1985;93:436-41
- LUSSI A, SCHAFFNER M, HOTZ P, SUTER P: Dental erosion in a population of Swiss adults. *Comm Dent Oral Epidemiol* 1991;19:286-90
- LUSSI A, JAEGGI T, SCHÄRER S: The influence of different factors on in vitro enamel erosion. *Caries Res* 1993;27:387-93
- LUSSI A, JAEGGI T, JAEGGI-SCHÄRER S: Prediction of the erosive potential of some beverages. *Caries Res* 1995;29:349-54
- LUSSI A: Dental erosion – Clinical diagnosis and case history taking. *Eur J Oral Sci* 1996;104:191-8
- LUSSI A, PORTMANN P, BURHOP B: Erosion on abraded dental hard tissues by acid lozenges: an in situ study. *Clin Oral Investig*, 1997;1:191-4
- McINTYRE JH: Erosion. *Aust Prosthodont J* 1992;6:17-25
- MANNERBERG F: Saliva factors in case of erosion. *J Dent Res* 1963;15:156-66
- MAUPOMÉ G, DÍEZ-DE-BONILLA J, TORRES-VILLASEÑOR G, ANDRADE-DELGADO LDC, CASTAÑO VM: In vitro quantitative assessment of enamel microhardness after exposure to eroding immersion in a cola drink. *Caries Res* 1998;32:148-53
- MEURMAN JH, RYTÖMAA I, KARI K, LAAKSO T, MURTOMAA H: Salivary pH and glucose after consuming various beverages, including sugar-containing drinks. *Caries Res* 1987;21:353-9
- MEURMAN JH, FRANK RM: Scanning electron microscopic study of the effect of salivary pellicle on enamel erosion. *Caries Res* 1991a;25:1-6
- MEURMAN JH, FRANK RM: Progression and surface ultrastructure of in vivo caused erosive lesions in human and bovine enamel. *Caries Res* 1991b;25:81-7

- MEURMAN JH, TOSKALA J, NUUTINEN P, KLEMETTI E: Oral manifestations in gastroesophageal reflux disease. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;78:583-9
- MEURMAN JH, TEN CATE JM: Pathogenesis and modifying factors on dental erosion. *Eur J Oral Sci* 1996;104:199-206
- MEYER G, DAWID E, SCHWARTZ P: Zur Pathomorphologie keilförmiger Defekte. *Dtsch Zahnärztl Z* 1991;46:629-32
- MICHEELIS W, REICH E: Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Ergebnisse, Trends und Problemanalysen auf der Grundlage bevölkerungsrepräsentativer Stichproben in Deutschland 1997. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1999
- MIERAU H-D, HAUBITZ I, VÖLK W: Gewohnheitsmuster beim Gebrauch der Handzahnbürste. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989;44:836-41
- MILLWARD A, SHAW L, SMITH A: Dental erosion in four-year-old children from differing socioeconomic backgrounds. *ASDC J Dent Child* 1994;61:263-6
- MILOSEVIC A, KELLY MJ, McLEAN AN: Sports supplement drinks and dental health in competitive swimmers and cyclists. *Br Dent J* 1997a;182:303-8
- MILOSEVIC A: Sports drinks hazard to teeth. *Br J Sports Med* 1997b;31:28-30
- MOTT BW: Micro-indentation hardness testing; Butterworths Publications Ltd., London 1956
- MURRAY ID, McCABE JF, STORER R: Abrasivity of denture cleaning pastes in vitro and in situ. *Br Dent J* 1986;161:137-41
- NIKIFORUK G: Understanding dental caries. Karger, Basel 1985
- O'BRIEN M: Children's dental health in the United Kingdom 1993. Office of Population Censuses and Surveys 1994. Her Majesty's Stationery Office, London.
- ÖHRN R, ENZELL K, ANGMAR-MÅNSSON B: Oral status of 81 subjects with eating disorders. *Eur J Oral Sci* 1999;107:157-63
- O'SULLIVAN EA, CURZON MEJ, ROBERTS GJ, MILLA PJ, STRINGER MD: Gastroesophageal reflux in children and its relationship to erosion of primary and permanent teeth. *Eur J Oral Sci* 1998;106:765-9
- OTT RW, NEUDERT T, RAAB H-M, BOEGERSHAUSEN H-M: Einflüsse der Zahnpfutztechnik auf die Entstehung keilförmiger Defekte. *Dtsch Stomatol* 1991;41:463-5
- PETERSEN PE, GORMSEN C: Oral conditions among German battery factory workers. *Community Dent Oral Epidemiol* 1991;19:104-6

- RIETHE P: Die Quintessenz der Mundhygiene. Quintessenz, Berlin 1974
- RØLLA G, SAXEGAARD E: Critical evaluation of the composition and use of topical fluorides, with emphasis on the role of calcium fluoride in caries inhibitions. J Dent Res 1990;69(special issue):780-5
- RUGG-GUNN AJ: Nutrition, diet and dental public health. Community Dent Health 1993;10:47-56
- RUGG-GUNN AJ, MAGUIRE A, GORDON PH, MCCABE JF, STEPHENSON G: Comparison of erosion of dental enamel by four drinks using an intra-oral applicance. Caries Res 1998;32:337-43
- RYTÖMAA I, MEURMAN JH, KOSKINEN J, LAAKSO T, GHARAZI L, TURUNEN R: In vitro erosion of bovine enamel caused by acidic drinks and other foodstuffs. Scand J Dent Res 1988;96:324-33
- RYTÖMAA I, JÄRVINEN V, KANERVA R, HEINONEN OP: Bulimia and tooth erosion. Acta Odontol Scand 1998;56:36-40
- SADLER JP, HALL AF, CREANOR SL, STRANG R, FOYE RH: An in situ model to study erosion in enamel and dentine (Abstract). Caries Res 1997;31:318
- SCHEMEHORN BR, ORBAN JC, WOOD GD, FISCHER GM, WINSTON AE: Remineralization by fluoride enhanced with calcium and phosphate. J Clin Dent 1999;10:13-6
- SCHETTLER G, GRETEN H: Innere Medizin: verstehen - lernen - anwenden. 9. A., Thieme Verlag 1998
- SCHEUTZEL P: Zahnmedizinisch-klinische und laborchemische Untersuchungen bei Patienten mit Anorexia und Bulimia nervosa. Med Habilschrift Universität Münster 1992
- SCHEUTZEL P, MEERMANN R: Anorexie und Bulimie aus zahnärztlicher Sicht. Urban&Schwarzenberg, München 1994, 64-78
- SCHEUTZEL P: Etiology of dental erosion - intrinsic factors. Eur J Oral Sci 1996;104:178-90
- SCHRÖDER HE: Orale Strukturbilogie. Thieme Verlag, 1987
- SCHWEITZER-HIRT CM, SCHAIT R, SCHMID R, IMFELD T, LUTZ F, MÜHLEMANN HR: Erosion und Abrasion des Schmelzes - Eine experimentelle Studie. Schweiz Monatsschr Zahnheilk 1978;5:497-529

SHAW L, WEATHERILL S, SMITH A: Tooth wear in children: an investigation of etiological factors in children with cerebral palsy and gastroesophageal reflux. *J Dent Child* 1998;65:484-6

SKALERIC U, RAVNIK C, CEVC P, SCHARA M: Microcrystals arrangement in human deciduous dental enamel studied by electron paramagnetic resonance. *Caries Res* 1982;16:47-50

SLOP D, DE ROOIJ JF, ARENDS J: Abrasion of enamel. I. An in vitro investigation. *Caries Res* 1983;17:242-8

SMITH BNG, KNIGHT JK: A comparison of pattern of tooth wear with aetiological factors. *Br Dent J* 1984;157:16-9

SØNJU-CLASEN AB, HANNIG M, SKJØRLAND K, SØNJU T: Analytical and ultrastructural studies of pellicle on primary teeth. *Acta Odontol Scand* 1997;55:339-43

SORVARI R, MEURMAN JH, ALAKUIJALA P, FRANK RM: Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro. *Caries Res* 1994;28:227-32

STÖSSER L, NEKRASHEVYCH Y: Erosion of dental enamel in vitro and rehardening by saliva in vivo (Abstract). *Caries Res* 1998;32:310

STRIJP AJP VAN, BUIJS MJ, TEN CATE JM: In situ fluoride retention in enamel and dentine after the use of an amine fluoride dentifrice and amine fluoride/sodium fluoride mouthrinse. *Caries Res* 1999;33:61-5

TANDON S, MATHEW TA: Effect of acid-etching on fluoride-treated caries-like lesions of enamel: a SEM study. *ASDC J Dent Child* 1997;64:344-8

TENOVUO JO: Human saliva, Vol. I - Saliva analysis. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida 1989

THEUNS HM, VAN DIJK JWE, JONGEBLOED WL: The mineral content of human enamel studied by polarizing microscopy, microradiography and scanning electron microscopy. *Arch Oral Biol* 1983;28:797-803

THYLSTRUP A, FEJERSKOV O: Textbook of clinical cariology. Munksgaard, Copenhagen 1994;333-53

TREY ER DE: Einfluss der Borstensteifheit von Zahnbürsten auf Kraftausübung, Gingivatraumatisierung und Plaqueentfernung. *Schweiz Mschr Zahnheilk* 1983;93:1007-16

VALK JWP, DUIJSTERS PPE, DAVIDSON CL: Toothbrush resistance and fluoride retention of sound, etched, fluoridated, and remineralized bovine enamel. *Am J Orthod* 1986;89:298-301

WANG J, SMITH BG: The effect of occlusal force on the formation of experimental cervical wedge-shaped defects on human teeth (Abstract). *Chung Hua Kou Chiang Hsueh Tsa Chih* 1995 Sep;30:268-70, 319

WANG J, SMITH BG: Study on experimental cervical defect of human tooth by SEM (Abstract). *Chung Hua Kou Chiang Hsueh Tsa Chih* 1996 Jan;31:31-3

WEATHERELL JA, ROBINSON C: The inorganic composition of teeth; in Zipkin I (Verfasser): *Biological mineralization*. New York, London, Sydney, Toronto; John Wiley and Sons, 1973:43-74

WEST NX, MAXWELL A, HUGHES JA, PARKER DM, NEWCOMBE RG, ADDY M: A method to measure clinical erosion: the effect of orange juice consumption on erosion of enamel. *J Dent* 1998;26:329-35

WEST NX, HUGHES JA, PARKER DM, NEWCOMBE RG, ADDY M: Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink. 2. Comparison with a conventional blackcurrant juice drink and orange juice. *J Dent* 1999;27:341-4

WIKTORSSON A-M, ZIMMERMAN M, ANGMAR-MÅNSSON B: Erosive tooth wear: prevalence and severity in Swedish winetasters. *Eur J Oral Sci* 1997;105:544-50

WILSON PR, BEYNON AD: Mineralization differences between human deciduous and permanent enamel measured by quantitative microradiography. *Arch Oral Biol* 1989;34:85-8

ZENTNER A, DUSCHNER H: Structural changes of acid etched enamel examined under confocal laser scanning microscope. *J Orofac Orthop* 1996;202-9

ZERO DT: Etiology of dental erosion - extrinsic factors. *J Oral Sci* 1996;2:162-77

ZIMMER, S: Softdrink-assoziierte Erosionsabrasionen – Beschreibung eines Behandlungsfalles. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1998;108:567-76

8 Anhang

Allgemeines:

Die Proben werden 24 Stunden am Tag getragen und nur zu den Mahlzeiten und zum Putzen der eigenen Zähne aus dem Mund genommen.

Die **eigenen Zähne** bitte während der gesamten Versuchsdauer **nur mit aronal** und einer normalen (mechanischen) Zahnbürste putzen, um eine Beeinflussung des Testergebnisses zu vermeiden.

Des Weiteren sollen für die Dauer der Versuchsphase fluoridhaltige Lebensmittel (hochfluoridhaltiges Mineralwasser, Fisch, schwarzer Tee, fluoridiertes Speisesalz) gemieden werden. **Vor** dem Genuss stark säurehaltiger Speisen (v.a. Obst, insbesondere Zitrusfrüchte) und Getränke (wie Cola, Fanta, Sprite, Isotonische Getränke, auch Obstsäfte) soll der Probenträger herausgenommen werden, **danach** soll der Mund kurz ausgespült und die Trägerplatte erst nach 15 Minuten wieder eingesetzt werden.

Wenn die Platte nicht getragen wird, muss sie - eingewickelt in ein feuchtes Taschentuch - in einem luftdicht abschließenden Gefäß aufbewahrt werden.

Zum Putzen der Proben:

Die Probenträger werden 2x täglich für 20 Minuten in die mit Zitronensäure gefüllte Petrischale gelegt, danach kurz unter fließendem Wasser abgespült, in den Mund eingesetzt und nach Anweisung geputzt. Die Zitronensäure wird vor jedem Einlegen aus der Flasche frisch entnommen.

Zu Beginn des Putzvorganges wird mit Hilfe der elektrischen Zahnbürste (ausgeschaltet) die ausgehändigte, spezielle Zahnpasta tupfend auf dem Probenträger verteilt, so dass sich auf allen vier Bereichen des Trägers jeweils ein Tupfer Zahnpasta befindet. Die Bereiche sollen nun in einer bestimmten (siehe unten) Reihenfolge geputzt werden.

Die Putzzeit beträgt 30 Sekunden pro Bereich. Achtung: Die elektrische Zahnbürste verlangsamt nach ca. 2 min für wenige Sekunden die Geschwindigkeit, dreht dann aber wieder mit der vorherigen Geschwindigkeit weiter. Den in diesem Moment geputzten Bereich bitte trotzdem weiter bürsten, bis die Putzdauer von 30 Sekunden erreicht ist. (Durch das Umsetzen der Zahnbürste von einem Probenbereich auf den anderen vergehen jeweils einige Sekunden, so dass mit einer Gesamtputzzeit von etwas über zwei Minuten zu rechnen ist.)

Die elektrische Zahnbürste ist mit einem Druckmessgerät versehen, das es ermöglicht, einen definierten Putzdruck auf die Proben auszuüben. Hierzu wird das Messgerät eingeschaltet.

Grüne Lampe = der richtige Putzdruck ist erreicht

Rote Lampe = der Druck ist zu stark - Druck verringern, bis es grün leuchtet.

Lampe aus = zu wenig Druck - Druck erhöhen, bis die grüne Lampe angeht.

Abb. 12: Allgemeine Anweisungen für die Probanden

	MORGENS	ABENDS
1. Tag	Li vorne, li hinten, re vorne, re hinten	li hinten, li vorne, re hinten, re vorne
2. Tag	Li vorne, li hinten, re hinten, re vorne	li hinten, li vorne, re vorne, re hinten
3. Tag	Li vorne, li hinten, re vorne, re hinten	li hinten, li vorne, re hinten, re vorne
4. Tag	Li vorne, li hinten, re hinten, re vorne	li hinten, li vorne, re vorne, re hinten
5. Tag	Li vorne, li hinten, re vorne, re hinten	li hinten, li vorne, re hinten, re vorne
<u>Legende:</u> li=links, re=rechts, von sich selbst aus gesehen		

Abb. 13: Putzschema, exemplarisch für die links beginnende Gruppe

Lebenslauf

Name: Dirk Jochen Friedrich

Adresse: Karlsbader Platz 1, 65197 Wiesbaden

Geburtstag: 13. August 1973

Geburtsort: Gießen

Nationalität: deutsch

Konfession: evangelisch

Eltern: Karin Friedrich, geb. Kahlert, Lehrerin i. R.
Gunther Friedrich, Richter i. R.

Geschwister: keine

Familienstand: verheiratet

Ehefrau: Patricia Klees-Friedrich, geb. Klees,
Diplomverwaltungswirtin (FH)

Schulbildung: 1979-83 Käthe-Kollwitz-Schule Gießen
1983-89 Friedrich-Ebert-Schule Gießen
1989-92 Landgraf-Ludwig-Schule Gießen
25. Mai 1992 Abitur

Dienst: 01.07.1992-30.06.1993 Grundwehrdienst

Studium: 19.04.1993-13.07.1998 Studium der Zahnheilkunde an
der Justus-Liebig-Universität Gießen
19.07.1998 Approbation als Zahnarzt

Weiterbildung: 01.01.1999-31.12.1999 Allgemeinzahnärztliches Jahr
Seit 28.02.2000 Weiterbildung im Fach Oralchirurgie
bei Dr. med. Dr. med. dent. Wolfgang Jakobs, Speicher

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Klimek möchte ich an dieser Stelle für die freundliche Überlassung des Themas danken.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. Ganß für die nette, zuvorkommende Betreuung und wertvolle Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Weiterhin bedanke ich mich herzlich bei Herrn Dipl.-Physiker Erik Lins aus Linden für die fachmännische Anfertigung eines Teils des Versuchsaufbaus. Ebenso danke ich Herrn Dipl.-Chemiker Rainer Schmitt sowie Frau Meier für ihre Hilfe bei Fragen zu Material und Methode dieser Arbeit.

Schließlich möchte ich mich noch ganz besonders bei allen Probanden für ihre Bereitschaft, Geduld und Zuverlässigkeit bedanken, ohne die diese Studie nicht durchführbar gewesen wäre.